

Planung und Realisierung eines Tonstudios in einem Bürocontainer

**„Ist es möglich, ein funktionierendes Tonstudio auf kleinstem Raum zu bauen?“ –
Bachelorarbeit zur Durchführung akustischer Maßnahmen in einem Bürocontainer**

Bachelorthesis im Studiengang Medientechnik

Zur Erlangung des akademischen Grades B. Sc.

Fakultät Design, Medien und Information

An der Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg

Vorgelegt von Victor Reineremann

Matrikelnummer: XXXXXXXXXX

Erstprüferin: Prof. Dr. Eva Wilk

Zweitprüferin: Prof. Dr. Carolin Liedtke

Abgegeben am: 30.08.2021 in Hamburg

Gliederung

| | |
|--|-------------|
| 1. Einleitung | |
| 1.1. Grundidee | S.2 |
| 1.2. Zielsetzung | S.2 |
| 1.3. Digitale/Elektronische Medien | S.4 |
| 1.4. Erläuterung der Ausgangssituation und Aufbau des Containers | S.4 |
| 2. Schalldämmung | |
| 2.1. Konzept | S.5 |
| 2.2. Bodenaufbau | S.5 |
| 2.3. Wandaufbau | S.7 |
| 2.4. Deckenaufbau | S.10 |
| 2.5. Messmethode | S.11 |
| 2.6. Schalldämmung zwischen Basisraum und Außenbereich | S.15 |
| 2.7. Schalldämmung zwischen Regieraum und Außenbereich – ohne Lagerung auf Reifenschläuchen | S.21 |
| 2.8. Schalldämmung zwischen Regieraum und Außenbereich – mit Lagerung auf Reifenschläuchen | S.23 |
| 2.9. Schalldämmung zwischen Regieraum und Aufnahmeaum | S.26 |
| 2.10. Darstellung und Interpretation der Ergebnisse | S.28 |
| 3. Raumakustik | |
| 3.1. Konzept Aufnahmeaum | S.30 |
| 3.2. Messmethode | S.32 |
| 3.3. Darstellung und Interpretation der Ergebnisse | S.33 |
| 3,4. Konzept Regieraum | S.37 |
| 3.5. Messmethode | S.37 |
| 3.6. Darstellung und Interpretation der Messergebnisse | S.38 |
| 4. Beleuchtung und Stromversorgung | S.42 |
| 5. Fazit | S.46 |
| 6. Eigenständigkeitserklärung | S.47 |
| Quellenverzeichnis | S.48 |
| Anlagen | S.49 |

1. Einleitung

1.1. Grundidee/Abstract

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit werden die akustischen Eigenschaften eines ehemaligen Bürocontainers geprüft und Maßnahmen zur Optimierung dieser Eigenschaften vorgestellt und durchgeführt mit dem Ziel, ein für Sprach- und Gesangsaufnahmen angepasstes Tonstudio innerhalb des Bürocontainers zu realisieren. In dieser Bachelorarbeit wird die Planung des Studios und dessen Bau dokumentiert und messtechnisch begleitet. Die Wirksamkeit der akustischen Maßnahmen wird anhand der Messergebnisse bewertet.

In this bachelor thesis, the acoustic properties of a former office container are checked and procedures for the optimization of these acoustic properties are presented and executed. The objective is to build a recording studio inside of the container specialized for the recording of speech and singing. The planning and building of the studio will be documented and metrologically accompanied in this bachelor thesis. The effectiveness of the acoustic procedures will be rated based on the measurement results.

1.2. Zielsetzung

Der Fokus der Arbeit liegt zunächst auf der Schalldämmung. Das Ziel dieser Bachelorarbeit ist ein Tonstudio zu bauen, welches unabhängig von der Umgebungssituation in Betrieb genommen und genutzt werden kann. Dementsprechend soll die Schallemission vom Innenraum nach außen minimiert werden, um das Studio in jeder Umgebung, beispielsweise einer Wohnsiedlung, nutzen zu können. Gleichzeitig soll der Container auch gegen Störschall von außen, beispielsweise Verkehrslärm, geschützt sein, um die Aufnahme von Audiomaterial im Studio ohne Störgeräusche zu ermöglichen. Es werden zwei getrennte Räume innerhalb des Bürocontainers gebaut und in **Regieraum** und **Aufnahmeraum** aufgeteilt. Auch zwischen diesen beiden Räumen soll die Schalltransmission minimiert werden, damit beim Abhören in der Regie über Monitorlautsprecher der Schall nicht in den Aufnahmeraum dringt und die Aufnahme stört.

Die DIN EN ISO 717-1 zur Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen⁽¹⁾ gibt für das bewertete Schalldämm-Maß von Norm-Leichtbauwänden einen Wert von $R_w(C;C_{tr}) = 33(-1;-2)\text{dB}$ für **Luftschalldämmung** an. Dieser Wert soll für die Schalldämmung von Aufnahmeraum zur Regie erreicht werden und stellt gleichzeitig die Mindestanforderung für das Schalldämm-Maß zwischen Innenraum und Außenbereich des Containers dar. Die DIN EN ISO 717⁽¹⁾ gibt für massive Wände ein bewertetes Schalldämm-Maß von $R_w(C;C_{tr}) = 53(-1;0)\text{dB}$ an. Ob dieser Wert durch bauakustische Maßnahmen zwischen Innenraum und Außenbereich des Containers erreicht werden kann, soll in der Bachelorarbeit überprüft werden. Hiermit sind Ober- und Untergrenze der Anforderungen an das Schalldämm-Maß der Bauteile gegeben, anhand derer eine Bewertung der Schalldämmung möglich ist.

Da das Studio speziell für Sprachaufnahmen ausgelegt sein soll, wird im weiteren Verlauf der Bachelorarbeit die Raumakustik des Aufnahmeraums im Frequenzbereich der menschlichen Sprache betrachtet und optimiert. Der Frequenzbereich der verständlichen menschlichen Sprache liegt zwischen 200Hz und 3000Hz ⁽²⁾.

Nach der DIN 18041 zur Hörsamkeit in Räumen⁽³⁾ kann der Sollwert der Nachhallzeit für Sprache durch die folgende Formel berechnet werden

$$T_{soll} = (0,37 * \log(V) - 0,14) \quad (T \text{ in s ; } V \text{ in m}^3)$$

Die Formel ist für Räume mit einem Volumen $>30\text{m}^3$ ausgelegt und gilt für die Frequenzen von 500Hz bis 1000Hz. Obwohl die im Tonstudio geplanten Räume mit 8m^3 für den Aufnahmeraum und 18m^3 für den Regieraum kleiner sind, stellt diese Formel die beste Annäherung für die Berechnung der Sollwerte dar und wird daher für die Zielsetzung genutzt. Für den Aufnahmeraum errechnet sich eine Soll-Nachhallzeit von **0,19s** für Sprache. Da das aufgenommene Signal mithilfe einer DAW nachbearbeitet werden soll, ist auch eine niedrigere Nachhallzeit als 0,19s zulässig. Für den Regieraum ergibt sich **0,32s** für Sprache.

Die aufgenommene Stimme soll im Regieraum über Lautsprecher abgespielt werden. Darüber hinaus soll idealerweise auch eine Mischung der Stimme mit Begleitmusik möglich sein. Für Musik berechnet sich gemäß der DIN 18041⁽³⁾ die Soll-Nachhallzeit mithilfe der Formel

$$T_{soll} = (0,45 * \log(V) + 0,07) \quad (T \text{ in s ; } V \text{ in m}^3).$$

Somit errechnet sich für den Regieraum eine Soll-Nachhallzeit von **0,63s** für Musik. Für den Regieraum wird dementsprechend die Ziel-Nachhallzeit zwischen 0,63s und 0,32s festgelegt.

Auch das Deutlichkeitsmaß C_{50} ist eine messbare Größe für die Sprachverständlichkeit und wird daher für die Bewertung der Akustik in Aufnahmeraum und Regieraum hinzugezogen⁽⁴⁾. Hierbei werden die Schallenergie innerhalb der ersten 50ms mit der Schallenergie nach den ersten 50ms ins Verhältnis gesetzt. Ein Wert von $C_{50}>0\text{dB}$ wird hier als Zielsetzung genommen. Ebenso wird für den Regieraum auch das Deutlichkeitsmaß C_{80} betrachtet, welches eine Bewertung der im Regieraum abgespielten Musik möglich macht⁽⁴⁾. Hierbei werden die Schallenergie innerhalb der ersten 80ms mit der Schallenergie nach den ersten 80ms ins Verhältnis gesetzt. Ein Wert von $C_{80}>0\text{dB}$ wird zum Ziel genommen.

Das Studio erhält eine Stromversorgung und Beleuchtung. Das Studio soll fest verbaut und auch für den Transport des Containers an einen anderen Standort ausgelegt sein.

1.3. Digitale/Elektronische Medien

Alle Anlagen und Abbildungen in dieser Arbeit sind zusätzlich auf einem digitalen Datenträger (USB-Stick) gespeichert, der der Arbeit beigelegt ist. Alle Abbildungen in dieser Arbeit sind vom Verfasser angefertigt. Fotos wurden vom Verfasser aufgenommen. Zeichnungen wurden mithilfe der Software AutoCAD angefertigt. Die zugehörige Zeichendatei im dwg-Format ist der Arbeit beigelegt. Diagramme mit Messergebnissen wurden aus der Software EASERA exportiert. Die zugehörigen Dateien im etm-Format sind der Arbeit beigelegt. Sonstige Tabellen und Diagramme wurden mit Microsoft Excel angefertigt. Die zugehörigen Excel-Arbeitsblätter sind der Arbeit beigelegt. Für die Arbeit wurde eine Lichtberechnung mit der Software DIALux angefertigt. Die zugehörige Datei im evo-Format ist der Arbeit beigelegt. Protokolle der Lichtberechnung im pdf-Format sind der Arbeit beigelegt. Ein Datenblatt der benutzten Leuchte im pdf-Format ist der Arbeit beigelegt. Eine Schaltzeichnung der Stromversorgung des Containers im pdf-Format ist der Arbeit beigelegt. Ein Datenblatt des benutzten absorbierenden Materials im pdf-Format ist der Arbeit beigelegt.

1.4. Erläuterung der Ausgangssituation und Aufbau des Containers

Beim genutzten Container handelt es sich um einen ehemaligen Bürocontainer mit den Standard-Außenmaßen von 6,0m Länge, 2,5m Breite und 2,5m Höhe. Das Außenmaterial ist feuerverzinktes Stahlblech in Trapezform. Die Anlagen [1] und [2] zeigen den leeren Innenraum des Containers nach Entfernen der Inneneinrichtung. Nach dem Entfernen der alten Decken, Wände, Fußböden und der darunter liegenden Holzkonstruktion (siehe Anlagen [3] und [4]) werden die zuvor vorhandenen Fenster mit Wellblechplatten geschlossen und es ergibt sich die in Anlage [5] gezeigte Situation des bis auf die Außenwände geräumten Containers mit einer Zugangstür. Der Rahmen dieser ersten Tür ist in einer Stirnseite des Containers fest verschweißt. Eine zweite Tür wird auf der gegenüberliegenden Seite neu eingebaut. Der Rahmen dieser zweiten Tür wird durch eine Holzkonstruktion aus 50mmx50mm Dachlatten in Position gehalten (siehe Anlage [6]). Um an den Öffnungen der ehemaligen Fenster keine Feuchtigkeit eintreten zu lassen, werden weitere Wellblechplatten am Rand mit Dichtungsband versehen und von außerhalb des Containers über den Öffnungen angebracht. Anlage [7] zeigt die Außenansicht des Containers mit diesen zur Abdichtung vorgesehenen Wellblechplatten. Zur Auskleidung des Innenraumes werden 12mm OSB-Verlegeplatten von innen an das Trapezblech bzw die Holzkonstruktion der zweiten Tür montiert. Dieser Vorgang ist in den Anlagen [8] bis [12] dokumentiert. Zwischen der Außenhülle und den OSB-Platten ist zusätzlich eine Folie angebracht, welche den Innenausbau des Containers vor potenziell eintretender Feuchtigkeit schützen soll. Nach Montage der OSB-Platten werden in die Kanten des nun entstandenen Raumes 40mm x 60mm starke

Dachlatten geschraubt, welche die Wände untereinander und die Wände mit dem Fußboden bzw. der Decke verbinden (Siehe Anlagen [13] und [14]). Durch die Trapezform der Außenhülle, die Stärke der OSB-Platten und der Holzkonstruktion für den Türrahmen ergeben sich für den neu entstandenen Innenraum die verringerten Maße von 5,83m Länge, 2,41m Breite und 2,43m Höhe. Dieser klar definierte Raum ist die Grundlage für die ersten Messungen und somit Grundlage für diese Bachelorarbeit. Für den weiteren Verlauf dieser Bachelorarbeit wird dieser Raum als **Basisraum** benannt.

2. Schalldämmung

2.1. Konzept

Um eine wirksame Schalldämmung zwischen Innenraum und Außenbereich des Containers und zwischen den Innenräumen zu erreichen, werden sowohl Aufnahme- als auch Regieraum nach dem Raum-in-Raum Prinzip errichtet. Grundgedanke dieses Prinzips ist die Entkopplung beider Innenräume vom Basisraum mithilfe von elastischer Lagerung und elastischen Verbindungen für eine optimale Isolation. Die Umsetzung erfolgt durch eine pneumatische Lagerung (durch Luftdruck) der Innenräume auf mit Luft gefüllten Reifenschläuchen und einer vollständigen Ummantelung der Innenräume mit einer Schicht aus Mineralwolle. Essenziell für die Wirksamkeit des Raum-in-Raum Prinzips ist die Vermeidung von festen Verbindungen zwischen Innenraum und Basisraum und auch zwischen den beiden Innenräumen. Besteht eine solche Verbindung, bildet diese eine Schallbrücke und wirkt sich negativ auf die Schalldämmung aus⁽⁵⁾. Somit muss auch bei Kabelkanälen und Luftschächten auf eine elastische Verbindung geachtet werden. Können alle festen Verbindungen vermieden werden und eine komplette Entkopplung der Innenräume von dem Basisraum gewährleistet werden, ist das Raum-in-Raum Prinzip der beste Ansatz für eine Maximierung des Schalldämm-Maßes⁽⁶⁾. Dies wird für das geplante Studio umgesetzt und messtechnisch überprüft. Im Folgenden wird die Umsetzung des Raum-in-Raum Prinzips für die Böden, Wände und Decken der Räume erläutert.

2.2. Bodenaufbau

Als Grundgerüst für die Böden werden Gitterkonstruktionen aus 40mm x 60mm starken Dachlatten verwendet. An den Punkten, an denen sich zwei Dachlatten kreuzen, werden diese eingeschnitten sodass sie ineinander fassen und sich eine ebene Auflagefläche für die Fußbodenplatten ergibt. Das gesamte Gitter ist somit 40mm hoch. Diese Gitterkonstruktionen werden in den Anlagen [15] und [16] gezeigt. Nachdem auf dem Boden des Basisraumes eine 10cm dicke Schicht aus Mineralwolle verlegt wurde, werden die Gitterkonstruktionen darauf in Position gebracht und im Anschluss mit den Fußbodenplatten verschraubt. Als Fußbodenplatten werden OSB-Verlegeplatten mit 25mm Stärke verwendet, welche somit stärker sind als die sonst genutzten, 12mm Platten. Dies hat den Hintergrund, dass die gesamte

Raumkonstruktion, also sowohl Wände und Decken der Räume als auch die spätere Inneneinrichtung auf dem Fußboden steht und von diesem getragen wird. Da die Räume mithilfe von Reifenschläuchen elastisch gelagert werden sollen, also durch diese angehoben werden, werden die dickeren Fußbodenplatten gewählt, um dieser Belastung standzuhalten. Die Anlage [17] zeigt das Fußbodengitter des geplanten Aufnahmeraums auf der darunter liegenden Mineralwollschicht und mit den, auf dem Gitter festgeschraubten, Fußbodenplatten

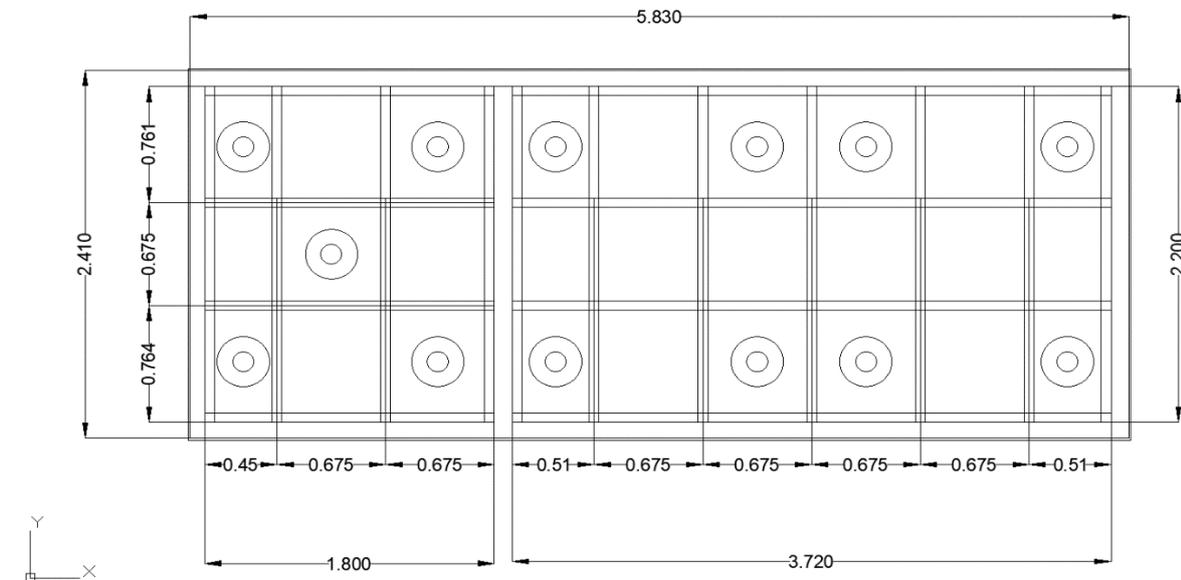


Abbildung 1: Konzeptzeichnung Fußboden, Sicht von oben - links: Aufnahmeraum; rechts: Regieraum

Abbildung 1 zeigt die Gitterkonstruktionen für beide Räume Innerhalb des Basisraums mit den entsprechenden Maßen. Ebenfalls werden die Positionen der Reifenschläuche angezeigt, welche den Fußboden mitsamt dem Raum anheben und den Raum somit elastisch lagern. Um die Reifenschläuche zu positionieren, mit Luft zu füllen und gegebenenfalls zu einem späteren Zeitpunkt auszutauschen, werden Löcher mit 100mm Durchmesser in den Fußboden geschnitten und ein Teil der darunter liegenden Mineralwolle entfernt. Nachdem die Reifenschläuche positioniert und mit Luft gefüllt wurden, werden die Löcher mit KG-Rohrdeckeln mit einem entsprechenden 100mm Durchmesser verschlossen. Die Löcher im Fußboden, sowie die darunter liegenden Reifen und die Deckel zum Verschluss der Löcher werden in den Anlagen [18] bis [21] gezeigt.

2.3. Wandaufbau

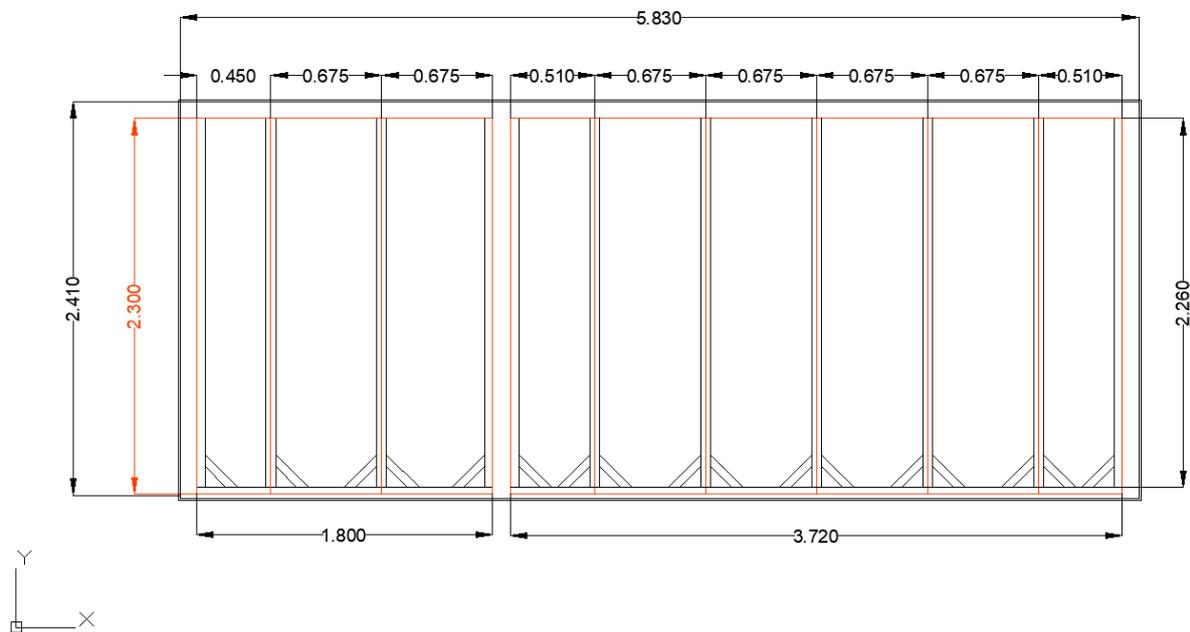


Abbildung 2: Konzeptzeichnung Wände, Seitenansicht - links: Aufnahmeraum; rechts: Regieraum

Abbildung 2 zeigt die Wandkonstruktion für die Seitenwände der beiden Räume. Die Wände bestehen aus 12mm OSB-Verlegetplatten, welche auf 2300mm Länge geschnitten werden. Die Umrandung der OSB-Platten wird in der Zeichnung rot dargestellt. Die OSB-Platten haben eine Breite von 675mm. Aus 40mm x 60mm Dachlatten werden 2260mm lange Stützen gebaut, welche in der Zeichnung schwarz dargestellt sind. Sie benötigen einen Abstand von 675mm von der Mitte einer Stütze zur Mitte der nächsten Stütze, um jeweils zwei OSB-Platten miteinander zu verbinden. Die Platten werden Stoß an Stoß positioniert und dann mit den Stützen verschraubt. Um die Raummaße von 1800mm im Aufnahmeraum und 3720mm im Regieraum einzuhalten, welche durch den Fußboden vorgegeben sind, müssen einige OSB-Platten der Zeichnung entsprechend zugeschnitten werden und der Abstand der abschließenden Stützen verringert werden. Die zusammengesetzte Wand wird so positioniert, dass die Stützen in die Innenräume zeigen. Dies ist notwendig, da die Räume in ihrer Gesamtheit durch den Fußboden getragen werden sollen und keine Verbindung zum Basisraum bestehen soll. Die Stützen werden auf dem Fußboden positioniert und mit kürzeren, im 45° Winkel am unteren Ende der Stützen montierten Dachlattenstücken stabilisiert. Die OSB-Platten sind mit einer Länge von 2300mm um 40mm länger geschnitten als die 2260mm langen Stützen und ragen somit um diese Länge über die Stützen und den Fußboden hinaus. So wird gewährleistet, dass zwischen den Wänden und den Fußböden der Räume kein Luftspalt vorhanden ist und ein abgeschlossener Raum entsteht. Die Anlagen [22] und

[23] zeigen den Aufbau der Wände des Aufnahme- und Regieraums mit der 100mm Mineralwollschicht, welche die Wände der Innenräume von der Wand des Basisraums trennt.

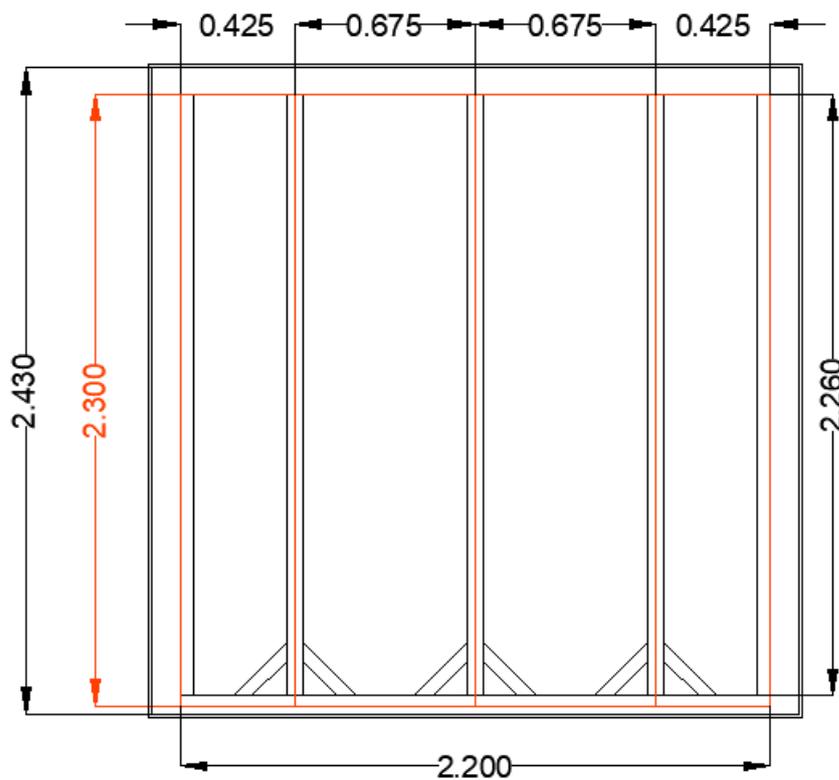


Abbildung 3: Konzeptzeichnung Wände, Frontansicht - Trennwände zwischen Aufnahme- und Regieraum

Abbildung 3 zeigt die Wandkonstruktion für die Trennwände zwischen Aufnahme- und Regieraum. Sie werden nach demselben Prinzip gebaut wie die Seitenwände. Die gezeigte Konstruktion wird jeweils einmal für jeden Raum gebaut und beide Wände mit einer 100mm Schicht aus Mineralwolle voneinander getrennt. Anlage [24] zeigt die Sicht aus dem Regieraum auf diese Mineralwollschicht, welche vor der Trennwand des Aufnahme- und Regieraums positioniert wurde. Die davor platzierte Trennwand des Regieraums wird zusätzlich in Anlage [25] gezeigt.

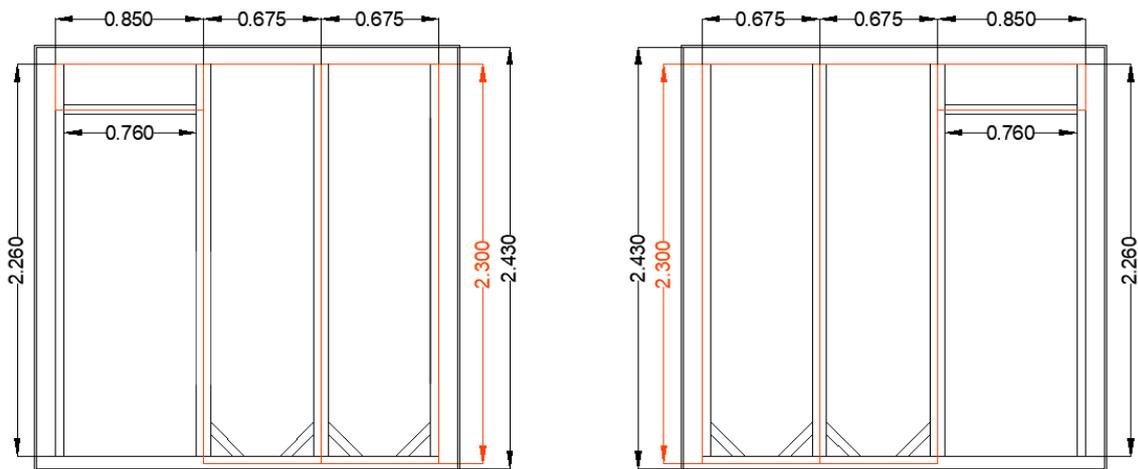


Abbildung 4: Konzeptzeichnung Wände, Frontansicht (links) und Rückansicht (rechts) des Containers - links: Regieraum; rechts: Aufnahmeraum

Abbildung 4 zeigt die Wandkonstruktionen für die Frontseite und die Rückseite des Containers, in denen sich auch die Zugänge zu den beiden Innenräumen befinden sollen. Die Wände werden somit nach demselben Prinzip wie die Seitenwände und die Trennwände gebaut mit dem Unterschied, dass in beiden Wänden ein 2000mm hoher und 760mm breiter Bereich freigelassen wird, in welchem die Türen der Innenräume montiert werden. Um einen Rahmen für die Türen zu bilden, wird eine 760mm lange Dachlatte als obere Begrenzung der Tür zwischen zwei Wandstützen montiert. In diesen Rahmen wird ein 20mm x 20mm Kantholz montiert, welches mit Dichtungsband beklebt wird und der Tür als Widerlager dient. Wird die Tür geschlossen, drückt sie gegen das Dichtungsband und bildet einen luftdichten und somit auch schalldichten Abschluss. Die Tür besteht, wie die Wände auch, aus einer 12mm OSB-Platte, welche auf das benötigte Maß zugeschnitten wird und mit 2 Metallscharnieren an einer der Wandstützen montiert wird. Anlage [26] zeigt den Rahmen der Tür mit dem montierten Kantholz, gegen welches die Tür beim Schließen gedrückt wird und den Scharnieren, mit welchen die Tür an der Stütze dahinter montiert ist. Auch vor dieser Wand ist eine 100mm Mineralwollschicht platziert, welche jedoch im Bereich der Tür unterbrochen ist. Um die Schalldämmung im Bereich der Tür zu optimieren, wird auf die Außenseite der Tür ein mit Mineralwolle gefülltes Kissen platziert, welches mit 20mm x 20mm Kanthölzern auf der Tür gehalten wird. Die Anlagen [27] bis [29] zeigen die Tür zum Regieraum mit dem darauf montierten Kissen und einem metallischen Riegel, welcher als Schließmechanismus für die Tür dient.

2.4. Deckenaufbau

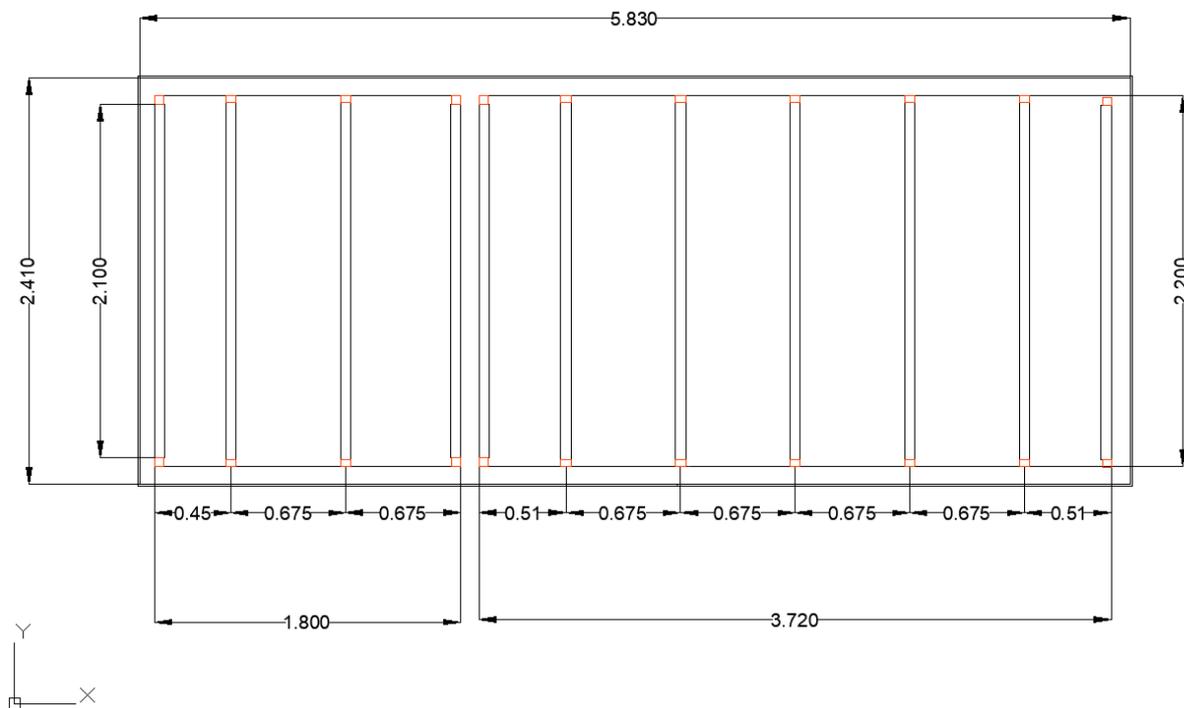


Abbildung 5: Konzeptzeichnung Decken, Ansicht von oben - links: Aufnahmeraum; rechts: Regieraum

Abbildung 5 zeigt die Deckenkonstruktionen für beide Innenräume. Am oberen Ende der Wandstützen werden 2100mm lange Dachlatten (40mm x 60mm) montiert. Dies wird in Anlage [30] abgebildet. Oberhalb dieser Dachlatten wird eine Schicht Mineralwolle und die Kabel für die vorgesehene Stromversorgung und Beleuchtung verlegt. Beim Verlegen der Kabel muss darauf geachtet werden, dass diese keine Schallbrücke zwischen den Innenräumen und dem Basisraum bilden. Da der Sicherungskasten für beide Räume im Regieraum positioniert werden soll, werden alle Kabel von dort aus oberhalb der Deckenkonstruktion und innerhalb der Mineralwollschicht verlegt.

Somit sind die Kabel immer auf der Seite der Innenräume und werden durch die Mineralwolle vom Basisraum getrennt. Sie bilden somit keine feste Verbindung. Im Anschluss werden 12mm OSB-Platten von unten an die Konstruktion geschraubt. Da die Dachlatten der Deckenkonstruktion an den Wandstützen montiert ist, haben die Dachlatten genau den richtigen Abstand zueinander um zwei OSB-Platten miteinander zu verbinden. Anlage [31] zeigt, wie die OSB-Platten der Decke zugeschnitten werden müssen, um zwischen die Stützen der Seitenwände zu passen. Zusätzlich sind Ausschnitte vorgesehen, um die Kabel der Stromversorgung aus der Decke zu führen und es werden Löcher in die Decke gebohrt, aus denen die Kabel für die vorgesehene Beleuchtung durchgeführt werden. Alle beim Bau entstandenen Fugen und die Löcher für Kabel werden abschließend mit Bauschaum gefüllt, um die Räume vollständig abzuschließen. Anlage [25] zeigt den so abgeschlossenen Regieraum mit den Kabeln für die Stromversorgung und die Beleuchtung, welche aus der Decke kommen.

Es sind nun zwei, durch Reifenschläuche und Mineralwolle elastisch gelagerte, quaderförmige Räume entstanden, welche die Grundlage für die Messungen zur Schalldämmung bilden. Der Aufnahme- raum hat eine Länge von 1800mm, eine Höhe von 2200mm und eine Breite von 2200mm. Der Regieraum hat eine Länge von 3720mm, eine Höhe von 2200mm und eine Breite von 2200mm. Daraus ergibt sich ein Raumvolumen von 8,712m³ im Aufnahme- raum und 18m³ im Regieraum.

2.5. Messmethode

Die akustischen Messungen zur Bestimmung des Schalldämm- Maßes werden mit einem Messakustik- Set durchgeführt. Dieses besteht aus einem STSN – Dodekaeder – DO12 Plus - Messlautsprecher als annähernd kugelförmige Schallquelle mit einem Subwoofer für die tieffrequenten Anteile, einem NTi M4261 Messmikrofon, einem RME-FireFace UC und einem Lenovo – V340-17IWL - Notebook mit der Software EASERA. Als Messsignal wird bei allen Messungen ein pink-MLS-Signal verwendet. Die Anlagen [32] und [33] zeigen die beiden Schallquellen und das Messmikrofon im Regieraum. Um eine Aussage über die Effektivität des realisierten Raum-in-Raum Prinzips treffen zu können, werden die ersten Messungen im Basisraum durchgeführt um diese mit den nachfolgenden Messungen im Regieraum und im Aufnahme- raum zu vergleichen. Aus den Messergebnissen wird ein Schalldämm- Maß errechnet, welches mit den eingangs formulierten Zielsetzungen verglichen wird.

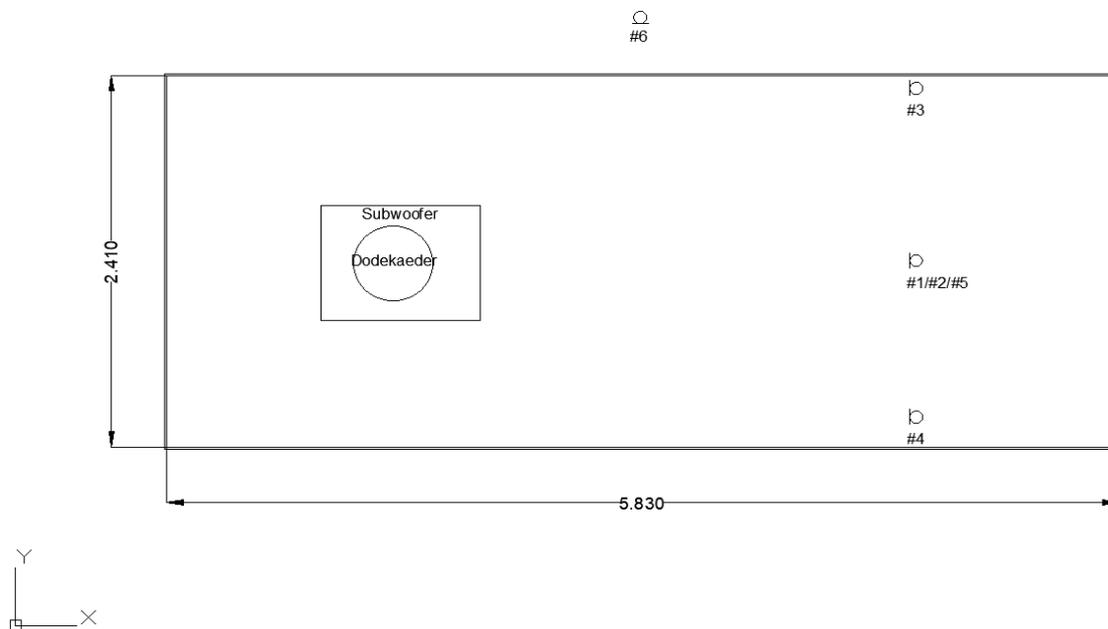


Abbildung 6: Messungen im Basisraum: Mikrofonpositionen

Abbildung 6 zeigt die Mikrofonpositionen im Basisraum, an welchen Messungen durchgeführt werden. Der Abstand der Mikrofonpositionen muss größer als der Hallradius r_H des Raums sein. Der Hallradius bezeichnet den Abstand zur Schallquelle, ab dem der Schalldruckpegel des Diffusschallfeldes gleich dem Schalldruckpegel des Direktschallfeldes ist. Für alle Abstände, die gleich oder größer als r_H sind,

gilt die Schallenergie als gleichverteilt im Raum. Um also ein für den gesamten Raum repräsentativen Messwert zu ermitteln, muss die Mikrofonposition mindestens einen Abstand von r_H zur Schallquelle haben. Um den Hallradius zu ermitteln, wird mithilfe der Sabineschen Nachhallzeitformel

$$T_{60} = 0,163 * (V/A_{\ddot{a}q})^{(7)}$$

eine Nachhallzeit über die Frequenz aus dem Raumvolumen $V=34,142\text{m}^3$ und der äquivalenten Schallabsorptionsfläche $A_{\ddot{a}q}$ des Raums berechnet. Die äquivalente Schallabsorptionsfläche berechnet sich mithilfe der Formel

$$A_{\ddot{a}q} = \sum_{i=1}^n \alpha_i * S_i^{(8)}$$

aus den Teilflächen des Raumes S_i und deren Absorptionsgraden α_i . Da die genauen Absorptionsgrade der genutzten OSB-Platten nicht bekannt sind, werden für die Berechnung von $A_{\ddot{a}q}$ und somit T_{60} die Absorptionsgrade von 16mm Holz auf 40mm Holzlatten verwendet⁽⁹⁾. Da die Absorptionsgrade frequenzabhängig sind und somit auch $A_{\ddot{a}q}$, ergibt sich für T_{60} die in Anlage [34] gezeigte Kurve für die angenäherte Nachhallzeit im Basisraum in den Oktavbändern 125Hz bis 4000Hz. Diese ergibt die kleinste Nachhallzeit bei 125Hz mit $T_{60} = 0,46\text{s}$ und den höchsten Wert bei 4000Hz mit $T_{60} = 1,18\text{s}$. Mit der Formel

$$r_H = 0,057 * \sqrt{\left(\frac{V}{T}\right)}^{(10)}$$

lässt sich ein Hallradius berechnen. Da der Hallradius größer wird je kleiner die Nachhallzeit ist, benötigt man nur den Hallradius der kleinsten ermittelten Nachhallzeit $T_{60} = 0,46\text{s}$ zu berechnen und hat somit den minimal benötigten Abstand der Mikrofonpositionen zur Schallquelle. Dieser beträgt folglich $r_H=0,491\text{m}$ im Basisraum. Für die Messungen im Basisraum wird dieser Mindestabstand eingehalten.

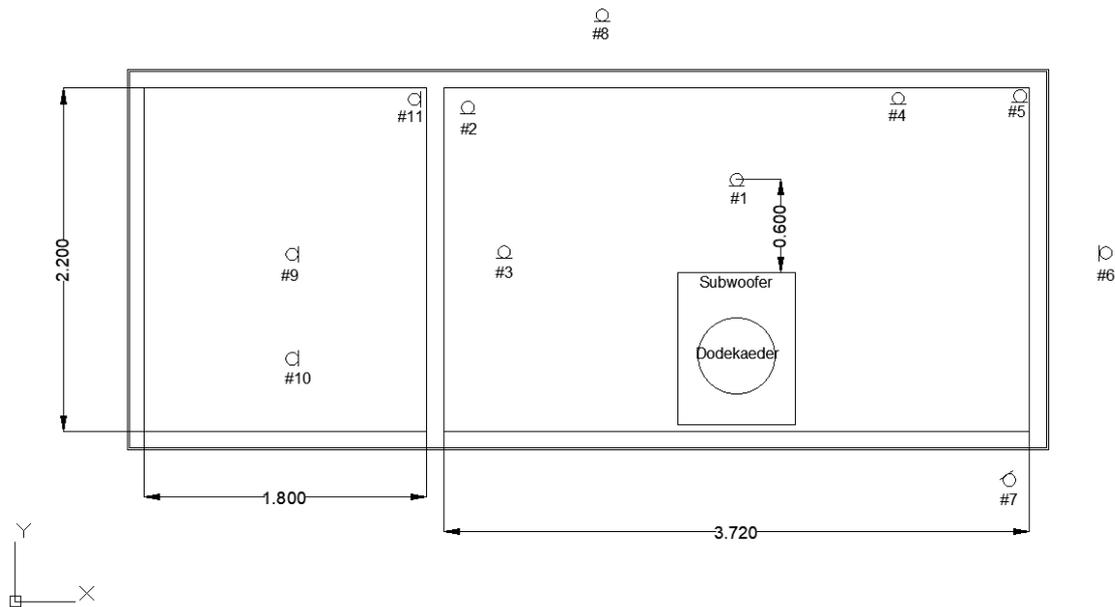


Abbildung 7: Messungen im Regieraum und im Aufnahmerraum: Mikrofonpositionen – links: Aufnahmerraum; rechts: Regieraum

Abbildung 7 zeigt die Mikrofonpositionen im Regieraum und im Aufnahmerraum, an denen Messungen durchgeführt wurden. Anlage [35] zeigt die errechnete Nachhallzeit im Regieraum über der Frequenz. Für die Berechnung werden dieselben Absorptionsgrade verwendet, welche auch der Berechnung für den Basisraum zugrunde liegen. Für den Hallradius im Regieraum errechnet sich ein Hallradius von $r_H = 0,392\text{m}$, welcher als Mindestabstand der Mikrofonposition von der Schallquelle eingehalten wird. Die Schallquellen, also der Dodekaeder und der Subwoofer, werden im Regieraum positioniert, um die zukünftig genutzten Studiomonitore zu simulieren.

Für die Messungen zur Schalldämmung werden in dem zu messenden Raum mehrere Messungen mit verschiedenen Mikrofonpositionen durchgeführt. Um ein für den gesamten Raum aussagekräftiges Ergebnis zu erzielen, werden für die Berechnungen der Schalldämm-Maße die Mittelwerte aller im Raum durchgeführten Messungen verwendet. Somit soll verhindert werden, dass durch Interferenz auftretende Verstärkungen oder Abschwächungen an bestimmten Positionen das Ergebnis und das errechnete Schalldämm-Maß verfälschen.

Als nächstes werden weitere Messungen auf der anderen Seite des Bauteils durchgeführt, dessen Schalldämm-Maß errechnet werden soll. Die entsprechenden Bauteile sind zum einen die Wände zwischen Innenraum und Außenbereich des Containers und zum anderen die Trennwand zwischen Regieraum und Aufnahmerraum. Die Schallquellen befinden sich weiterhin an der geplanten Position der Monitorlautsprecher in der Regie. Da sich das Mikrofon bei den Messungen im Außenbereich nicht in einem geschlossenen Raum befindet, reichen einzelne Messungen an diesen Positionen. Das Ergebnis ist valide, da im Freien keine Verfälschungen durch Interferenz aufkommen. Es muss darauf geachtet

werden, dass Umgebungsgeräusche wie Verkehrslärm, Geräusche von Bauarbeiten oder Wind minimal sind und das einzig aufgenommene Signal das Messsignal aus dem Innenraum ist.

Da das Schalldämm-Maß aus der Differenz von zwei Schalldruckpegeln errechnet wird, müssen keine weiteren Messungen mit umgekehrtem Messaufbau vorgenommen werden. Die Differenz der Schalldruckpegel zwischen Innenbereich und Außenbereich des Containers ist unabhängig davon, auf welcher Seite des trennenden Bauteils sich die Schallquelle befindet. Dies gilt ebenfalls für das Schalldämm-Maß zwischen Regieraum und Aufnahmezimmer, jedoch müssen für die messtechnische Ermittlung einer Nachhallzeit im Aufnahmezimmer zusätzliche Messungen im Aufnahmezimmer durchgeführt werden. Hierbei wird nur der Dodekaeder als Schallquelle benötigt. Abbildung 8 zeigt die Position der Schallquelle und die Mikrofonpositionen für diese Messungen

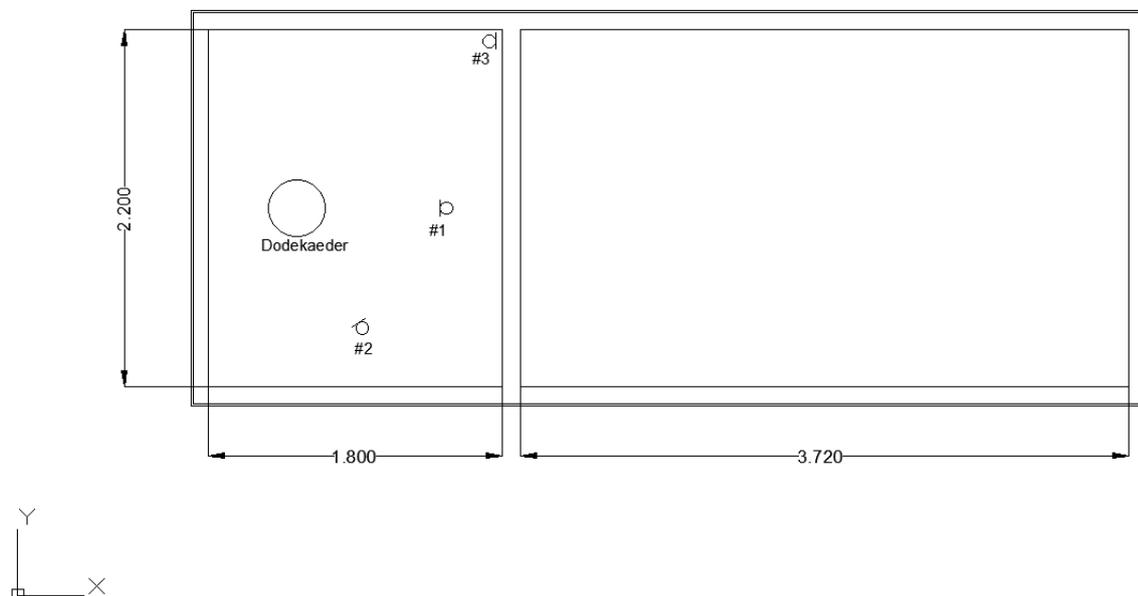


Abbildung 8: Messungen im Aufnahmezimmer zu Errechnung einer Nachhallzeit: Mikrofonpositionen

Für die Errechnung eines Hallradius im Aufnahmezimmer wird zunächst eine Nachhallzeit über der Frequenz errechnet. Diese wird in Anlage [36] gezeigt. Für die Berechnung werden dieselben Absorptionsgrade verwendet, welche auch der Berechnung für den Basisraum und den Regieraum zugrunde liegen. Mit einem Raumvolumen von $8,7\text{m}^3$ errechnet sich ein Hallradius von $r_H = 0,34\text{m}$. Dieser Mindestabstand wurde für die Messungen eingehalten.

2.6. Schalldämmung zwischen Basisraum und Außenbereich

Die Anlagen [37] bis [42] zeigen die Messergebnisse des Basisraums (Raummaße: 5,83m Länge, 2,41m Breite x 2,43m Höhe) als Schalldruckpegel über der Frequenz an den in Abbildung 6 gezeigten Mikrofonpositionen.

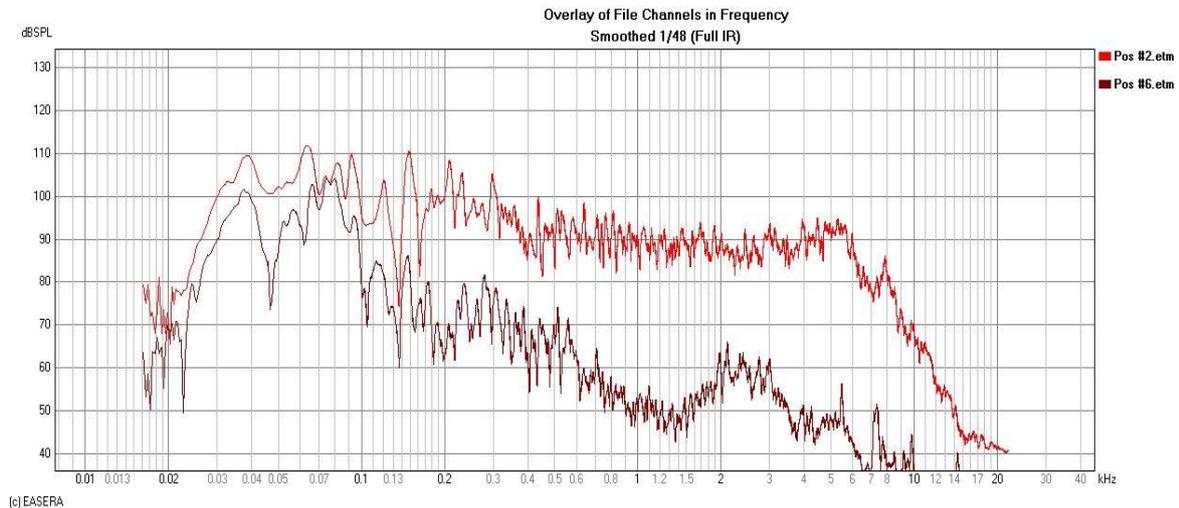


Abbildung 9: Schalldruckpegel über der Frequenz - Messposition #2 und #6 der Messungen im Basisraum

Abbildung 9 zeigt die übereinandergelegten Schalldruckpegel der Messungen an Position #2 und Position #6. Die Kurve für Pos #2 zeigt den an dieser Position im Basisraum gemessenen Schalldruckpegel. Die Kurve für Pos #6 zeigt den gemessenen Schalldruckpegel im Außenbereich vor der Seitenwand des Containers bei gleicher Lautsprechereinstellung.

Eine erste Betrachtung dieser beiden Kurven zeigt, dass das Signal im Bassbereich von 0,02kHz-0,1kHz nahezu ungedämpft im Außenbereich aufgenommen wird. Im unteren Sprachbereich von 0,2kHz bis 0,5kHz ist eine leichte Dämpfung von 20-25dB zu erkennen. Die Dämpfung steigt von 30dB bei 0,6kHz auf 40dB bei 1kHz und 1,25kHz an. Bei Im Bereich von 2kHz bis 3kHz ist ein Einbruch der Dämpfung zu sehen. Hier wird das Signal nur noch um 30dB gedämpft. Im oberen Sprachbereich von 4kHz-8kHz ist eine Dämpfung von 40dB zu sehen.

Für die Berechnung eines bewerteten Schalldämm-Maßes werden die 16 Terzbänder von 100Hz bis 3150Hz betrachtet. Die Werte des Schalldruckpegels an den Positionen #1-#5 in diesen Terzbändern werden gemittelt und ergeben einen Durchschnittswert des Schalldruckpegels im gesamten Basisraum gemäß Abbildung 10.

| Messungen Basisraum | | | | | | |
|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|
| Terzband (Hz) | Messung Pos#1 (dB) | Messung Pos#2 (dB) | Messung Pos#3 (dB) | Messung Pos#4 (dB) | Messung Pos#5 (dB) | Durchschnitt Pos #1-#5 (dB) |
| 100 | 95 | 95 | 107 | 102 | 97 | 99,2 |
| 125 | 98 | 96 | 102 | 98 | 94 | 97,6 |
| 160 | 95 | 95 | 93 | 87 | 92 | 92,4 |
| 200 | 100 | 100 | 91 | 88 | 98 | 95,4 |
| 250 | 97 | 97 | 90 | 93 | 99 | 95,2 |
| 315 | 89 | 92 | 91 | 94 | 93 | 91,8 |
| 400 | 89 | 86 | 92 | 93 | 93 | 90,6 |
| 500 | 87 | 85 | 96 | 94 | 88 | 90 |
| 630 | 89 | 92 | 95 | 97 | 90 | 92,6 |
| 800 | 88 | 89 | 95 | 93 | 82 | 89,4 |
| 1000 | 89 | 90 | 91 | 95 | 87 | 90,4 |
| 1250 | 89 | 92 | 86 | 85 | 81 | 86,6 |
| 1600 | 89 | 88 | 90 | 91 | 80 | 87,6 |
| 2000 | 92 | 90 | 85 | 93 | 86 | 89,2 |
| 2500 | 85 | 86 | 88 | 88 | 80 | 85,4 |
| 3150 | 93 | 93 | 92 | 88 | 89 | 91 |

Abbildung 10: Messwerte in den Terzbändern von 100Hz - 3150Hz und gemittelter Durchschnittswert im Basisraum

Im Folgenden wird die Berechnung des bewerteten Schalldämm-Maßes für die Trennwand des Basisraums zum Außenbereich des Containers exemplarisch beschrieben. Die Berechnung weiterer Schalldämm-Maße in dieser Arbeit erfolgt nach demselben Prinzip.

Aus den Durchschnittswerten des Schalldruckpegels an den Positionen #1-#5 und den Messwerten an Position #6 wird zunächst eine Pegeldifferenz D an den 16 Terzmittenfrequenzen errechnet.

| Terzband (Hz) | Durchschnitt Pos. #1-#5 (dB) | Messung Pos#6 (dB) | D (dB) | S (m ²) | T (s) | A _{äq} (m ²) | R (dB) |
|---------------|------------------------------|--------------------|--------|---------------------|-------|-----------------------------------|-------------|
| 100 | 99,2 | 82 | 17,2 | 14,16 | 0,55 | 10,11785455 | 18,65974822 |
| 125 | 97,6 | 74 | 23,6 | 14,16 | 0,57 | 9,762842105 | 25,21486988 |
| 160 | 92,4 | 72 | 20,4 | 14,16 | 0,58 | 9,594517241 | 22,09040126 |
| 200 | 95,4 | 67 | 28,4 | 14,16 | 0,39 | 14,26876923 | 28,36676739 |
| 250 | 95,2 | 72 | 23,2 | 14,16 | 0,5 | 11,12964 | 24,24582137 |
| 315 | 91,8 | 72 | 19,8 | 14,16 | 0,59 | 9,431898305 | 21,56464144 |
| 400 | 90,6 | 63 | 27,6 | 14,16 | 0,61 | 9,122655738 | 29,50941967 |
| 500 | 90 | 63 | 27 | 14,16 | 0,68 | 8,183558824 | 29,38121045 |
| 630 | 92,6 | 58 | 34,6 | 14,16 | 0,75 | 7,41976 | 37,40673396 |
| 800 | 89,4 | 54 | 35,4 | 14,16 | 0,78 | 7,134384615 | 38,37706735 |
| 1000 | 90,4 | 50 | 40,4 | 14,16 | 0,72 | 7,728916667 | 43,02944629 |
| 1250 | 86,6 | 47 | 39,6 | 14,16 | 0,63 | 8,833047619 | 41,64952682 |
| 1600 | 87,6 | 48 | 39,6 | 14,16 | 0,64 | 8,69503125 | 41,71792106 |
| 2000 | 89,2 | 57 | 32,2 | 14,16 | 0,6 | 9,2747 | 34,03763383 |
| 2500 | 85,4 | 58 | 27,4 | 14,16 | 0,5 | 11,12964 | 28,44582137 |
| 3150 | 91 | 54 | 37 | 14,16 | 0,45 | 12,36626667 | 37,58824646 |

Abbildung 11: Werte zur Berechnung des frequenzabhängigen Schalldämm-Maßes R bei den 16 Terzmittenfrequenzen von 100Hz bis 3150Hz

Die Anlage [43] zeigt die an Position #2 gemessene Nachhallzeit T_{30} des Basisraumes über der Frequenz. Die entsprechenden Zahlenwerte für die Nachhallzeit der Terzbänder werden in Anlage [44] dargestellt. Mithilfe dieser Nachhallzeiten und dem Raumvolumen des Basisraums ($5,83\text{m} \cdot 2,41\text{m} \cdot 2,43\text{m} = 34,142\text{m}^3$) kann nach Umstellung der Gleichung

$$T_{60} = 0,163 \cdot (V/A_{\text{äq}})^{(7)}$$

die äquivalente Schallabsorptionsfläche $A_{\text{äq}}$ des Basisraums berechnet werden. Mithilfe der äquivalenten Schallabsorptionsfläche und der Fläche des trennenden Bauteils S ($5,83\text{m} \times 2,43\text{m} = 14,16\text{m}^2$) lässt sich mit der Formel

$$R = D + 10 \cdot \lg(S/A_{\text{äq}})^{(11)}$$

ein erstes, frequenzabhängiges, Schalldämm-Maß R berechnen. Die Tabelle in Abbildung 11 zeigt alle nach diesen Formeln ausgerechneten Werte für die betrachteten 16 Terzbänder. Zur Festlegung eines bewerteten Schalldämm-Maßes als Einzahlwert aus diesen frequenzabhängigen Werten für R werden die Ergebnisse zunächst mit Bezugswerten verglichen. Die Bezugswerte stammen aus der DIN EN ISO 717-1⁽¹⁾ und entsprechen den Schalldämm-Maßen einer Vollziegelwand mit einer Wandstärke von 0,25m⁽¹²⁾.

| Terzband (Hz) | R (dB) | Bezugswerte (dB) | Bezug-R (dB) | Bezug-19dB (dB) | Bezug-19dB-R (dB) |
|---------------|-------------|------------------|--------------|-----------------|-------------------|
| 100 | 18,65974822 | 33 | 14,34025178 | 14 | 0 |
| 125 | 25,21486988 | 36 | 10,78513012 | 17 | 0 |
| 160 | 22,09040126 | 39 | 16,90959874 | 20 | 0 |
| 200 | 28,36676739 | 42 | 13,63323261 | 23 | 0 |
| 250 | 24,24582137 | 45 | 20,75417863 | 26 | 1,754178635 |
| 315 | 21,56464144 | 48 | 26,43535856 | 29 | 7,435358562 |
| 400 | 29,50941967 | 51 | 21,49058033 | 32 | 2,490580328 |
| 500 | 29,38121045 | 52 | 22,61878955 | 33 | 3,618789551 |
| 630 | 37,40673396 | 53 | 15,59326604 | 34 | 0 |
| 800 | 38,37706735 | 54 | 15,62293265 | 35 | 0 |
| 1000 | 43,02944629 | 55 | 11,97055371 | 36 | 0 |
| 1250 | 41,64952682 | 56 | 14,35047318 | 37 | 0 |
| 1600 | 41,71792106 | 56 | 14,28207894 | 37 | 0 |
| 2000 | 34,03763383 | 56 | 21,96236617 | 37 | 2,962366174 |
| 2500 | 28,44582137 | 56 | 27,55417863 | 37 | 8,554178635 |
| 3150 | 37,58824646 | 56 | 18,41175354 | 37 | 0 |
| | | | 272,3744714 | | 26,81545189 |
| | | | 17,02340446 | | 1,675965743 |

Abbildung 12: Werte zur Berechnung eines Einzahlwertes für das bewertete Schalldämm-Maß R_w

Die Subtraktion der Werte für R von den Bezugswerten ergeben die ungünstigen Abweichungen (Bezug-R). In den entsprechenden Frequenzbändern unterschreiten die Werte von R die Bezugswerte um den in Abbildung 12 angegebenen Wert. Die Summe der ungünstigen Abweichungen, welche in der Tabelle blau dargestellt ist, wird durch die Anzahl der Terzbänder, also durch 16 geteilt, um die mittlere Abweichung zu berechnen. Die größte zulässige mittlere Abweichung beträgt 2 dB. Dieser Wert wird nicht eingehalten. Die mittlere Abweichung der Messwerte von den Bezugswerten liegt bei gerundet 17 dB und ist damit deutlich zu hoch (in der Tabelle rot dargestellt). In diesem Fall werden die Bezugswerte in Schritten von 1 dB den Messwerten angenähert, bis die mittlere Abweichung den zulässigen Wert von 2 dB erreicht oder unterschreitet. Dies geschieht bei einer Anpassung der Bezugswerte um 19 dB. Das Diagramm in Abbildung 13 zeigt die Werte für R als Messkurve, die Bezugswerte als Bezugskurve und die angepassten Bezugswerte als angepasste Bezugskurve.

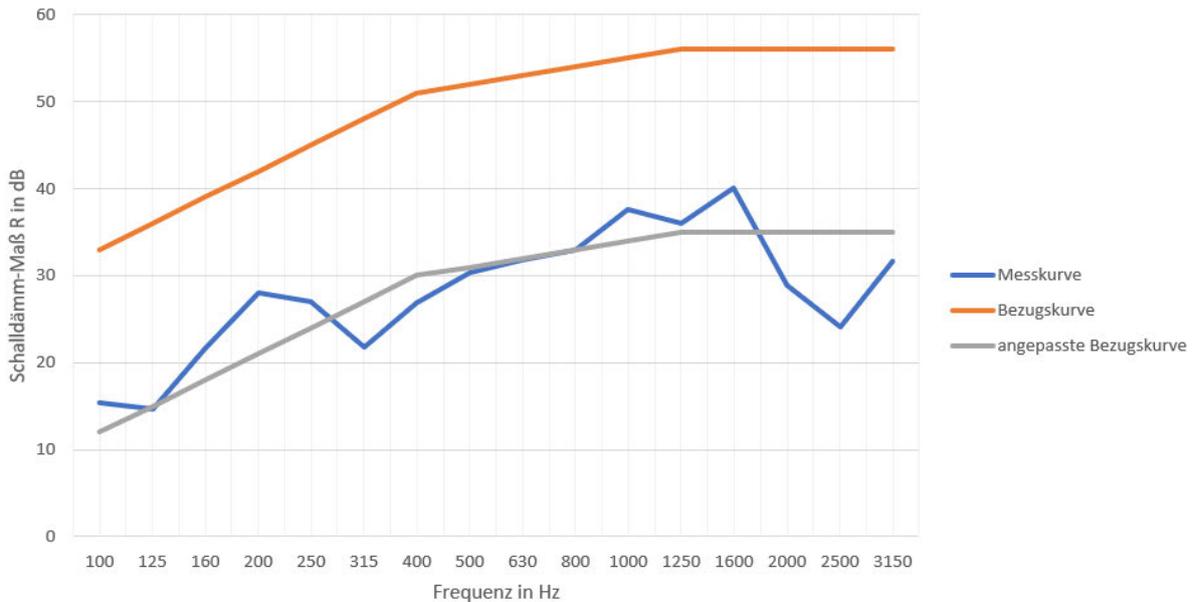


Abbildung 13: Messkurve, Bezugskurve und angepasste Bezugskurve zur Ermittlung des bewerteten Schalldämm-Maßes R_w im Basisraum

Bei einer erneuten Subtraktion der Werte für R von den angepassten Bezugswerten ergibt sich eine mittlere Abweichung von gerundet 1,7 dB. Negative Werte werden mit 0 vermerkt, da in diesen Bereichen die Messkurve oberhalb der angepassten Bezugskurve liegt, die Messwerte also schon eine bessere Schalldämmung repräsentieren als die angepasste Bezugskurve. Für den Wert des bewerteten Schalldämm-Maßes R_w wird nun der Wert der angepassten Bezugskurve in der Mitte des gesamten Spektrums bei 500Hz übernommen. Somit ergibt sich für den Basisraum das bewertete Schalldämm-Maß $R_w = 33\text{dB}$.

Zusätzlich zum Wert des Schalldämm-Maßes gibt es die Spektrum-Anpassungswerte C und C_{tr} , mit denen das Schalldämm-Maß gemäß der DIN EN ISO 717-1⁽¹⁾ an spezielle oder häufig auftretende Lärmsituationen angepasst werden kann. Anlage [45] zeigt die entsprechenden Lärmsituationen, auf die sich die Anpassungswerte beziehen und ist aus der DIN EN ISO 717-1 übernommen⁽¹²⁾. Danach ist der Spektrum-Anpassungswert C für überwiegend mittel- und hochfrequenten Lärm zu verwenden und der Spektrum- Anpassungswert C_{tr} für überwiegend tief- und mittelfrequenten Lärm.

Da das geplante Studio mobil sein soll und somit in unterschiedlichen Situationen in Betrieb genommen werden soll, ist die Berechnung und Betrachtung der Anpassungswerte für dieses Projekt von Bedeutung. Die Anpassungswerte werden mithilfe von Referenz-Schallpegelspektren berechnet. Die Spektren und die Werte zur Berechnung werden in Abbildung 14 für C und in Abbildung 15 für C_{tr} dargestellt.

| Terzband (Hz) | Schallpegelspektrum Li für C (dB) | Li-R (dB) | $10^{((Li-R)/10dB)}$ (dB) |
|---------------|-----------------------------------|--------------|---------------------------|
| 100 | -29 | -47,65974822 | 1,71406E-05 |
| 125 | -26 | -51,21486988 | 7,55985E-06 |
| 160 | -23 | -45,09040126 | 3,09713E-05 |
| 200 | -21 | -49,36676739 | 1,15697E-05 |
| 250 | -19 | -43,24582137 | 4,73607E-05 |
| 315 | -17 | -38,56464144 | 0,000139167 |
| 400 | -15 | -44,50941967 | 3,54045E-05 |
| 500 | -13 | -42,38121045 | 5,77935E-05 |
| 630 | -12 | -49,40673396 | 1,14637E-05 |
| 800 | -11 | -49,37706735 | 1,15423E-05 |
| 1000 | -10 | -53,02944629 | 4,97801E-06 |
| 1250 | -9 | -50,64952682 | 8,61088E-06 |
| 1600 | -9 | -50,71792106 | 8,47633E-06 |
| 2000 | -9 | -43,03763383 | 4,96863E-05 |
| 2500 | -9 | -37,44582137 | 0,00018006 |
| 3150 | -9 | -46,58824646 | 2,19369E-05 |
| | | | 0,000643722 |
| | | RA= | 31,91301839 |
| | | C= | -1,08698161 |

Abbildung 14: Werte zur Berechnung von C mithilfe des Referenz-Schallpegelspektrums für C

| Terzband (Hz) | Schallpegelspektrum Li für C _{tr} (dB) | Li-R (dB) | $10^{((Li-R)/10dB)}$ (dB) |
|---------------|---|--------------------|---------------------------|
| 100 | -20 | -38,65974822 | 0,000136152 |
| 125 | -20 | -45,21486988 | 3,00963E-05 |
| 160 | -18 | -40,09040126 | 9,79399E-05 |
| 200 | -16 | -44,36676739 | 3,65867E-05 |
| 250 | -15 | -39,24582137 | 0,000118965 |
| 315 | -14 | -35,56464144 | 0,000277674 |
| 400 | -13 | -42,50941967 | 5,61123E-05 |
| 500 | -12 | -41,38121045 | 7,27577E-05 |
| 630 | -11 | -48,40673396 | 1,4432E-05 |
| 800 | -9 | -47,37706735 | 1,82934E-05 |
| 1000 | -8 | -51,02944629 | 7,88961E-06 |
| 1250 | -9 | -50,64952682 | 8,61088E-06 |
| 1600 | -10 | -51,71792106 | 6,73299E-06 |
| 2000 | -11 | -45,03763383 | 3,13499E-05 |
| 2500 | -13 | -41,44582137 | 7,16833E-05 |
| 3150 | -15 | -52,58824646 | 5,5103E-06 |
| | | | 0,000990787 |
| | | RA _{tr} = | 30,04019841 |
| | | C _{tr} = | -2,959801589 |

Abbildung 15: Werte zur Berechnung von C_{tr} mithilfe des Referenz-Schallpegelspektrums für C_{tr}

Mithilfe der Formel

$$R_A = -10 * \lg \sum_{i=1}^{16} 10^{\frac{L_i - R_i}{10 \text{ dB}}} \text{ dB} \quad (14)$$

Wird der Einzahlwert R_A für C und der Einzahlwert $R_{A, \text{tr}}$ für C_{tr} gebildet. Die Spektrum-Anpassungswerte C und C_{tr} berechnen sich gemäß

$$C = R_A - R_w \quad (14)$$

$$C_{\text{tr}} = R_{A, \text{tr}} - R_w \quad (14)$$

und ergeben gerundet gemeinsam mit R_w den Wert für das bewertete Schalldämm-Maß

$$R_w(C; C_{\text{tr}}) = 33(-1; -3) \text{ dB.}$$

Die Anpassungswerte sind für die entsprechenden Lärmsituationen mit dem Wert für R_w zu verrechnen. Für Lärmsituationen des Spektrums 1 für C beträgt das Schalldämm-Maß dementsprechend 32 dB und für Lärmsituationen des Spektrums 2 für C_{tr} 30 dB. Dieses Schalldämm-Maß erreicht schon den zum Ziel genommenen Wert von $R_w(C; C_{\text{tr}}) = 33(-1; -2) \text{ dB}$ von Leichtbauwänden. Lediglich bei tief- und mittelfrequenten Lärmsituationen erreicht das errechnete Schalldämm-Maß den Zielwert noch nicht. Der Spektrum-Anpassungswert C_{tr} ist um 1 dB niedriger als die Zielsetzung.

2.7. Schalldämmung zwischen Regieraum und Außenbereich – ohne Lagerung auf Reifenschläuchen

Die nächsten Messungen erfolgen nach der Errichtung des Aufnahme- und des Regieraums nach dem Raum-in-Raum Prinzip. Es wird ein Schalldämm-Maß der Trennwand zwischen Regieraum und Außenbereich des Containers errechnet. Da der Regieraum und der Aufnahme- und der Regieraum nach dem gleichen Prinzip errichtet werden, gilt das hieraus errechnete Schalldämm-Maß ebenfalls für die Trennwände zwischen Aufnahme- und Außenbereich des Containers. Zunächst werden die Messungen ohne eine Lagerung des Regieraumes auf Reifenschläuchen durchgeführt. Die Entkopplung der Räume ist lediglich durch die Mineralwolle gegeben, welche den Raum umgibt. Die Anlagen [46] bis [53] zeigen den Schalldruckpegel über der Frequenz dieser Messungen an den Mikrofonpositionen #1 - #8 aus Abbildung 7. In Abbildung 16 werden die Messergebnisse vom Schalldruckpegel über der Frequenz von Position #4 und Position #8 übereinander dargestellt. Die Messung an Position #4 zeigt den Schalldruckpegel im Regieraum und die Messung an Position #8 zeigt den Schalldruckpegel im Außenbereich vor der Längsseite des Containers.

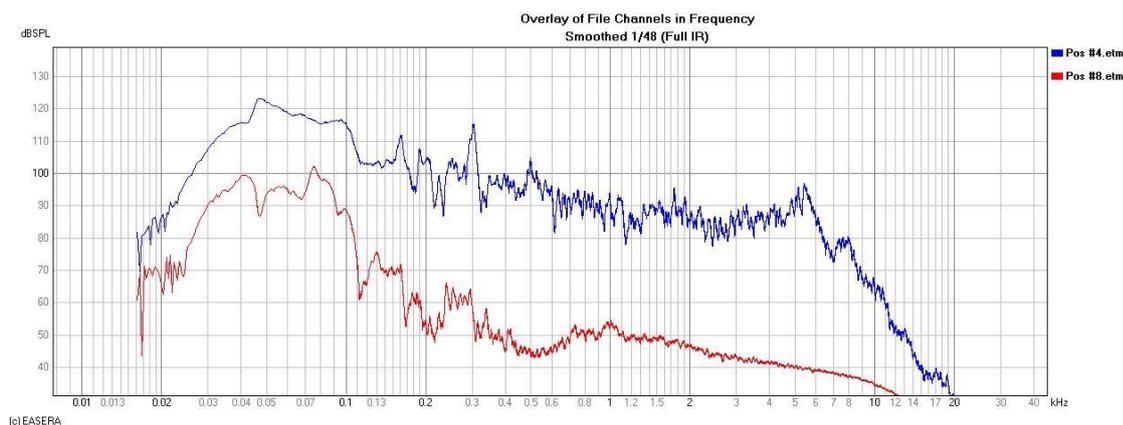


Abbildung 16: Schalldruckpegel über der Frequenz, Messung im Regieraum ohne Reifenschläuche – Messpositionen #4 und #8

Eine erste Betrachtung dieser beiden Messkurven zeigt im Bassbereich von 0,02kHz-0,1kHz eine Dämpfung. Das Signal wird bei diesen Frequenzen im Außenbereich des Containers um 20dB leiser aufgenommen. Im gesamten Sprachbereich von 0,2kHz bis 8kHz zeigt sich eine Dämpfung um 40dB und bei 0,5kHz sogar eine Dämpfung um 50dB. Im Bereich von 1kHz bis 1,25kHz zeigt sich ein leichter Dämmeinbruch. Hier wird das Signal nur um 35dB leiser aufgenommen.

Die Werte der Messungen an den Positionen #1-#5 werden für die 16 Terzbändern von 100Hz bis 3150Hz gemittelt und ergeben einen Durchschnittswert des Schalldruckpegels im gesamten Raum

gemäß

Abbildung

17.

| Messungen Regieraum ohne Lagerung auf Reifenschläuchen | | | | | | |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|
| Terzband (Hz) | Messung Pos#1 (dB) | Messung Pos#2 (dB) | Messung Pos#3 (dB) | Messung Pos#4 (dB) | Messung Pos#5 (dB) | Durchschnitt Pos #1-#5 (dB) |
| 100 | 119 | 121 | 116 | 116 | 123 | 119 |
| 125 | 111 | 112 | 103 | 103 | 111 | 108 |
| 160 | 94 | 105 | 93 | 111 | 109 | 102,4 |
| 200 | 104 | 93 | 90 | 104 | 103 | 98,8 |
| 250 | 98 | 103 | 94 | 103 | 105 | 100,6 |
| 315 | 108 | 91 | 101 | 102 | 107 | 101,8 |
| 400 | 97 | 96 | 97 | 99 | 100 | 97,8 |
| 500 | 100 | 93 | 99 | 105 | 101 | 99,6 |
| 630 | 89 | 91 | 89 | 92 | 94 | 91 |
| 800 | 89 | 92 | 94 | 94 | 94 | 92,6 |
| 1000 | 84 | 90 | 88 | 93 | 88 | 88,6 |
| 1250 | 86 | 82 | 86 | 85 | 88 | 85,4 |
| 1600 | 83 | 88 | 85 | 85 | 80 | 84,2 |
| 2000 | 88 | 86 | 86 | 85 | 83 | 85,6 |
| 2500 | 87 | 86 | 84 | 86 | 81 | 84,8 |
| 3150 | 89 | 87 | 92 | 83 | 88 | 87,8 |

Abbildung 17: Messwerte in den Terzbändern von 100Hz - 3150Hz und gemittelter Durchschnittswert für den gesamten Regieraum ohne Lagerung auf Reifenschläuchen

Anlage [54] zeigt den Verlauf der Nachhallzeit im Regieraum an Messposition #1 und Anlage [55] deren Zahlenwerte. Mithilfe dieser Nachhallzeiten kann aus den Durchschnittswerten und den Werten der Messung außerhalb des Containers an Position #8 ein frequenzabhängiges Schalldämm-Maß errechnet werden (Anlage [56]). Dessen Verlauf ist über den 16 Terzbändern von 100Hz – 3150Hz in Abbildung 18 dargestellt. Der Verlauf der Messkurve zeigt, dass die Schalldämmung in den Terzbändern von 100Hz bis 500Hz schon im Bereich der Bezugswerte liegt. Jedoch zeigt sich bei der Terzmittenfrequenz 630Hz und darüber ein deutlicher Dämmeinbruch.



Abbildung 18: Messkurve, Bezugskurve und angepasste Bezugskurve zur Ermittlung des bewerteten Schalldämm-Maßes R_w im Regieraum (ohne Reifenschläuche)

Der Vergleich mit der Bezugskurve und eine Anpassung der Bezugskurve um 12dB gemäß Anlage [57] ergeben ein bewertetes Schalldämm-Maß der Trennwand zwischen Regieraum und Außenbereich des Containers von 40dB. Nach der Berechnung der Spektrum-Anpassungswerte C (Anlage [58]) und C_{tr} (Anlage [59]) ergibt sich das bewertete Schalldämm-Maß

$$R_w(C;C_{tr})=40(-0;-1) \text{ dB.}$$

Nach Abzug der Anpassungswerte ergibt sich für Lärmsituationen des Spektrums 1 für C ein Schalldämm-Maß von 40dB und für Lärmsituationen des Spektrums 2 für C_{tr} ein Schalldämm-Maß von 39dB. Auch nach Abzug der Anpassungswerte erreicht das neu berechnete Schalldämm-Maß das gesetzte Ziel von $R_w(C;C_{tr}) = 33(-1;-2)$ dB, bleibt jedoch noch deutlich unter dem Schalldämm-Maß für massive Wände $R_w(C;C_{tr}) = 53(-1;-0)$ dB.

2.8. Schalldämmung zwischen Regieraum und Außenbereich – mit Lagerung auf Reifenschläuchen

Das nächste Schalldämm-Maß wird ebenfalls aus Messungen im Regieraum und im Außenbereich des Containers an den Messpositionen #1 bis #8 aus Abbildung 7 ermittelt. Während dieser Messungen ist der Regieraum jedoch zusätzlich zur Mineralwolle, die den Raum umgibt, auf acht mit Luft gefüllten Reifenschläuchen elastisch gelagert. Die Anlagen [60] bis [67] zeigen den Schalldruckpegel über der Frequenz der Messungen. In Abbildung 19 werden die Messergebnisse vom Schalldruckpegel über der Frequenz von Position #5 und Position #8 übereinander dargestellt. Die Kurve der Messung an Position #5 zeigt den Schalldruckpegel im Regieraum und die Kurve der Messung an Position #8 zeigt den Schalldruckpegel im Außenbereich vor der Längsseite des Containers.

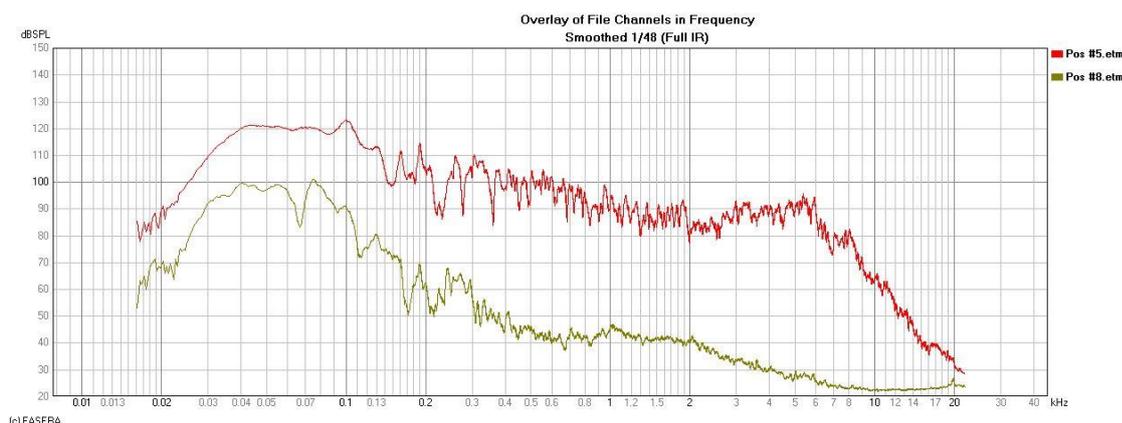


Abbildung 19: Schalldruckpegel über der Frequenz, Messung Regieraum, auf Reifenschläuchen gelagert – Messpositionen #5 und #8

Eine erste Betrachtung dieser beiden Messkurven zeigt im Bassbereich von 0,02kHz bis 0,08 kHz eine Dämpfung von 20dB. Im Bereich von 0,1kHz bis 0,16kHz zeigt sich eine Dämpfung von 30dB. Im

unteren Sprachbereich von 0,16kHz bis 0,3kHz wird das Signal im Außenbereich um 40dB leiser aufgenommen. Im Bereich von 0,3kHz bis 2kHz zeigt sich keine Dämpfung von 50dB und im Bereich von 2kHz bis 8kHz erhöht sich die Dämpfung auf 55dB-60dB.

Die Werte der Messungen an den Positionen #1-#5 werden für die 16 Terzbändern von 100Hz bis 3150Hz gemittelt und ergeben einen Durchschnittswert des Schalldruckpegels im gesamten Raum gemäß Abbildung 20.

| Messungen Regieraum mit Lagerung auf Reifenschläuchen | | | | | | |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|
| Terzband (Hz) | Messung Pos#1 (dB) | Messung Pos#2 (dB) | Messung Pos#3 (dB) | Messung Pos#4 (dB) | Messung Pos#5 (dB) | Durchschnitt Pos #1-#5 (dB) |
| 100 | 121 | 121 | 116 | 112 | 123 | 118,6 |
| 125 | 111 | 108 | 98 | 98 | 113 | 105,6 |
| 160 | 100 | 103 | 100 | 111 | 110 | 104,8 |
| 200 | 106 | 99 | 94 | 107 | 104 | 102 |
| 250 | 97 | 101 | 90 | 103 | 104 | 99 |
| 315 | 110 | 99 | 106 | 103 | 105 | 104,6 |
| 400 | 93 | 89 | 94 | 97 | 98 | 94,2 |
| 500 | 101 | 85 | 97 | 105 | 97 | 97 |
| 630 | 97 | 93 | 92 | 97 | 94 | 94,6 |
| 800 | 90 | 84 | 90 | 94 | 96 | 90,8 |
| 1000 | 93 | 89 | 86 | 92 | 91 | 90,2 |
| 1250 | 86 | 87 | 90 | 83 | 92 | 87,6 |
| 1600 | 92 | 88 | 87 | 92 | 88 | 89,4 |
| 2000 | 87 | 91 | 91 | 84 | 78 | 86,2 |
| 2500 | 90 | 91 | 83 | 85 | 84 | 86,6 |
| 3150 | 91 | 97 | 92 | 94 | 90 | 92,8 |

Abbildung 20: Messwerte in den Terzbändern von 100Hz - 3150Hz und gemittelter Durchschnittswert für den gesamten Regieraum mit Lagerung auf Reifenschläuchen

Anlage [68] zeigt den Verlauf der Nachhallzeit im Regieraum an Messposition #3 bei Lagerung des Raums auf Reifenschläuchen und Anlage [69] deren Zahlenwerte. Mithilfe dieser Nachhallzeiten kann aus den Messwerten ein frequenzabhängiges Schalldämm-Maß errechnet werden (Anlage [70]), dessen Verlauf über den 16 Terzbändern von 100Hz – 3150Hz in Abbildung 21 dargestellt ist. Der Verlauf der Messkurve verläuft im Bereich zwischen 160Hz und 630Hz sehr nahe an der Bezugskurve. Es zeigen sich Dämmeinbrüche in den tiefen Terzbändern bei 100Hz bis 125Hz und in den Terzbändern von 800Hz bis 1250Hz.

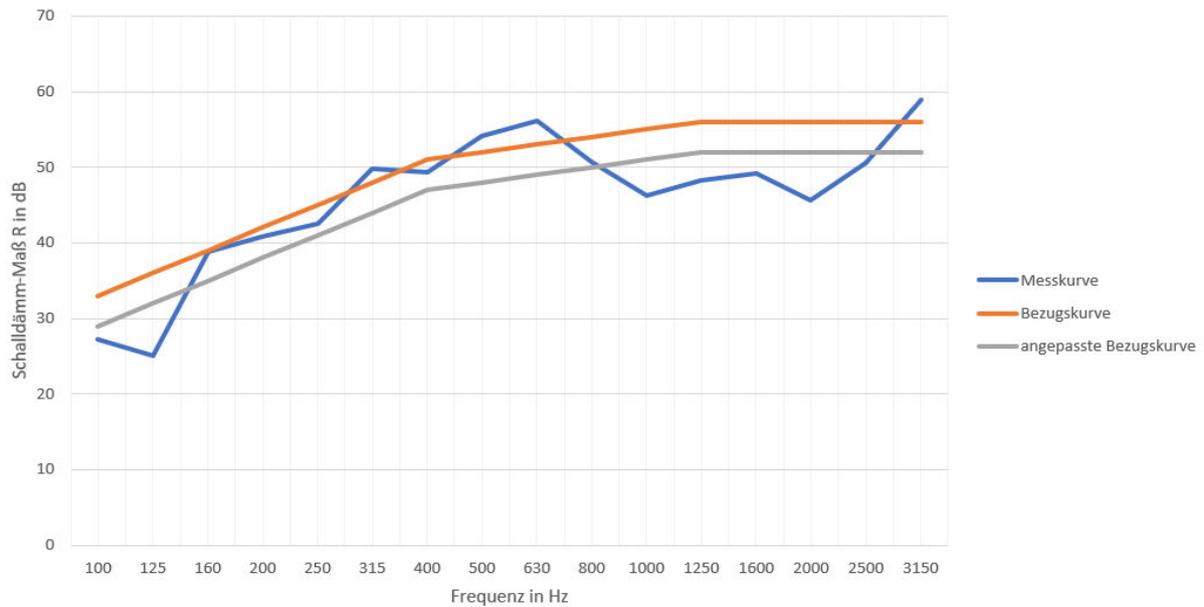


Abbildung 21: Messkurve, Bezugskurve und angepasste Bezugskurve zur Ermittlung des bewerteten Schalldämm-Maßes R_w im Regieraum (auf Reifenschläuchen gelagert)

Eine Anpassung der Bezugskurve um 4dB gemäß Anlage [71] ergeben ein bewertetes Schalldämm-Maß zwischen Innenraum und Außenbereich des Containers von 48dB. Nach Berechnung der Spektrum-Anpassungswerte C (Anlage [72]) und C_{tr} (Anlage [73]) ergibt sich ein bewertetes Schalldämm-Maß von

$$R_w(C;C_{tr})=48(-2;-6) \text{ dB.}$$

Nach Abzug der Anpassungswerte ergibt sich für Lärmsituationen des Spektrums 1 für C ein Schalldämm-Maß von 46dB und für Lärmsituationen des Spektrums 2 für C_{tr} ein Schalldämm-Maß von 42dB. Auch nach Abzug der Anpassungswerte erreicht das neu berechnete Schalldämm-Maß das gesetzte Ziel von $R_w(C;C_{tr}) = 33(-1;-2)$ dB. Das Schalldämm-Maß für massive Wände $R_w(C;C_{tr}) = 53(-1;-0)$ dB wird nicht erreicht.

2.9. Schalldämmung zwischen Regieraum und Aufnahmeaum

Die die Ermittlung eines Schalldämm-Maßes zwischen Aufnahmeaum und Regieraum werden die Messungen der Mikrofonpositionen #1-#5 und #9-#11 aus Abbildung 7 genutzt. Beide Räume sind während der Messungen elastisch auf Reifenschläuchen gelagert. Für die Messergebnisse aus dem Regieraum (Positionen #1-#5) werden wieder die Anlagen [60] bis [64] verwendet. Die Anlagen [74] bis [76] zeigen den Verlauf des Schalldruckpegels über der Frequenz an den Positionen #9-#11. Abbildung 22 zeigt die übereinander gelegten Schalldruckpegel der Messungen an Position #1 und Position #9. Die Kurve von Pos #1 zeigt den Schalldruckpegel über der Frequenz im Regieraum und die Kurve von Pos #9 den gemessenen Schalldruckpegel im Aufnahmeaum hinter der Trennwand zwischen Aufnahme- und Regieraum.

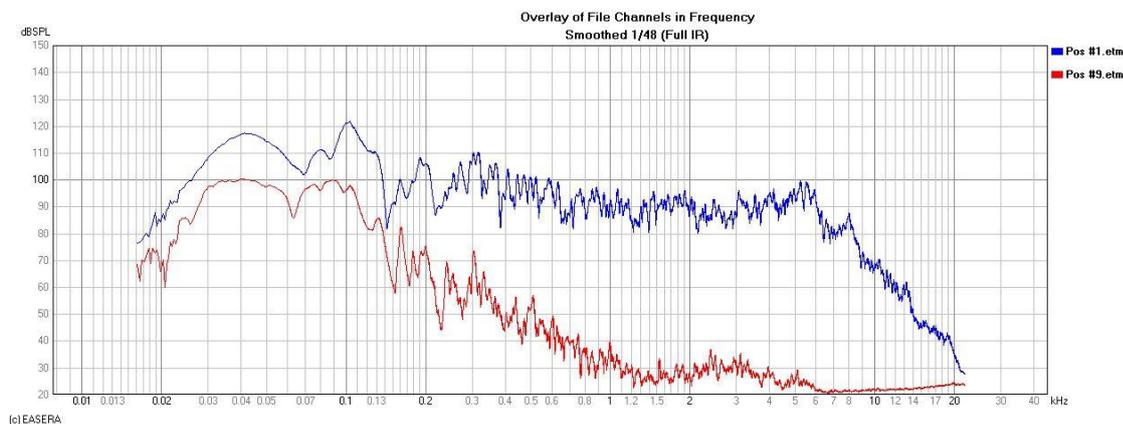


Abbildung 22: Schalldruckpegel über der Frequenz – Pos #4 im Regieraum und Pos #9 im Aufnahmeaum

Eine erste Betrachtung der Verläufe zeigt im tieffrequenten Bereich von 0,02kHz bis 0,13kHz eine Dämpfung von 10-15dB. Im Bereich von 0,13kHz bis 0,3kHz wird das Signal um 40dB gedämpft. Im Bereich von 0,3kHz bis 0,8kHz beträgt die Dämpfung 50dB und von 0,8kHz bis 8kHz bis zu 60dB.

Für die Berechnung eines bewerteten Schalldämm-Maßes werden die Durchschnittswerte der Messungen an den Positionen #1-#5 aus Abbildung 20 und die Durchschnittswerte der Messungen an den Positionen #9-#11 aus Abbildung 23 genutzt.

| Messungen Aufnahmeaum mit Lagerung auf Reifenschläuchen | | | | |
|---|--------------------|---------------------|---------------------|------------------------------|
| Terzband (Hz) | Messung Pos#9 (dB) | Messung Pos#10 (dB) | Messung Pos#11 (dB) | Durchschnitt Pos #9-#11 (dB) |
| 100 | 96 | 93 | 104 | 97,66666667 |
| 125 | 81 | 76 | 92 | 83 |
| 160 | 80 | 73 | 84 | 79 |
| 200 | 75 | 70 | 79 | 74,66666667 |
| 250 | 62 | 61 | 70 | 64,33333333 |
| 315 | 57 | 65 | 76 | 66 |
| 400 | 45 | 51 | 57 | 51 |
| 500 | 52 | 55 | 55 | 54 |
| 630 | 45 | 41 | 41 | 42,33333333 |
| 800 | 38 | 36 | 40 | 38 |
| 1000 | 39 | 33 | 31 | 34,33333333 |
| 1250 | 28 | 25 | 26 | 26,33333333 |
| 1600 | 28 | 27 | 27 | 27,33333333 |
| 2000 | 28 | 25 | 30 | 27,66666667 |
| 2500 | 35 | 33 | 28 | 32 |
| 3150 | 29 | 34 | 29 | 30,66666667 |

Abbildung 23: Messwerte in den Terzbändern von 100Hz - 3150Hz und gemittelter Durchschnittswert für den Aufnahmeaum mit Schallquellen im Regieraum

Anlage [77] zeigt den Verlauf der Nachhallzeit im Aufnahmeaum an Messposition #1 aus Abbildung 8. Die zugehörigen Zahlenwerte werden in Anlage [78] gezeigt. Mithilfe dieser Nachhallzeiten kann aus den Messwerten ein frequenzabhängiges Schalldämm-Maß errechnet werden (Anlage [79]), dessen Verlauf über den 16 Terzbändern von 100Hz – 3150Hz in Abbildung 24 dargestellt ist. In den Terzbändern von 100Hz bis 500Hz ist die Messkurve deutlich unterhalb der Bezugskurve. In den Terzbändern von 630Hz, 800Hz und 2500Hz liegen die Messwerte auf Höhe der Bezugskurve. In den Terzbändern von 1000Hz bis 2000Hz und 3150Hz verläuft die Messkurve oberhalb der Bezugskurve.

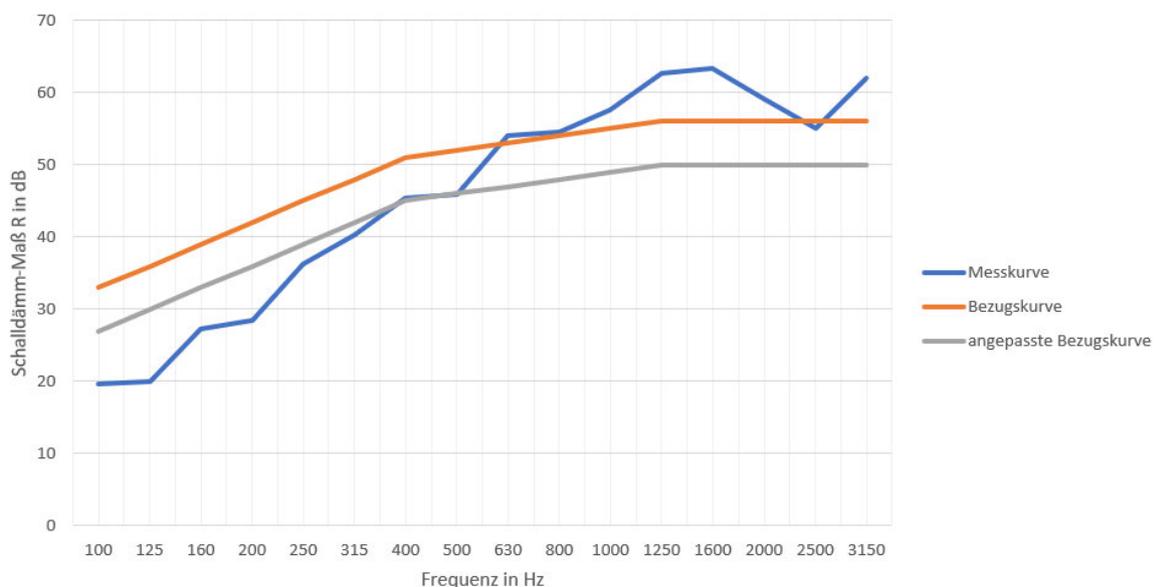


Abbildung 24: Messkurve, Bezugskurve und angepasste Bezugskurve zur Ermittlung des bewerteten Schalldämm-Maßes R_w zwischen Regieraum und Aufnahmeaum

Eine Anpassung der Bezugskurve um 4dB gemäß Anlage [80] ergeben ein bewertetes Schalldämm-Maß zwischen Innenraum und Außenbereich des Containers von 46dB. Nach Berechnung der Spektrum-Anpassungswerte C (Anlage [81]) und C_{tr} (Anlage [82]) ergibt sich ein bewertetes Schalldämm-Maß von

$$R_w(C;C_{tr})=46(-4;-11) \text{ dB.}$$

Nach Abzug der Anpassungswerte ergibt sich für Lärmsituationen des Spektrums 1 für C ein Schalldämm-Maß von 42dB und für Lärmsituationen des Spektrums 2 für C_{tr} ein Schalldämm-Maß von 35dB. Auch nach Abzug der Anpassungswerte erreicht das berechnete Schalldämm-Maß das gesetzte Ziel von $R_w(C;C_{tr}) = 33(-1;-2)\text{dB}$.

2.10. Darstellung und Interpretation der Ergebnisse

| Maßnahme | gemessen von | gemessen nach | bewertetes Schalldämm-Maß | Differenz zu Grundlage | Messkurve Nr. |
|--------------------------------|--------------|---------------|-----------------------------|------------------------|---------------|
| Grundlage | Basisraum | Außenbereich | $R_w=33(-1;-3) \text{ dB}$ | | #1 |
| gedämmt | Regieraum | Außenbereich | $R_w=40(-0;-1) \text{ dB}$ | +7dB | #2 |
| gedämmt und elastisch gelagert | Regieraum | Außenbereich | $R_w=48(-2;-6) \text{ dB}$ | +15dB | #3 |
| gedämmt und elastisch gelagert | Regieraum | Aufnahmeraum | $R_w=46(-4;-11) \text{ dB}$ | +13dB | #4 |

Abbildung 25: Ergebnisübersicht Schalldämmung

Abbildung 25 zeigt den Erfolg der Maßnahmen zur Erhöhung der Schalldämmung als Differenz zu dem als Grundlage genommenen Basisraum und Abbildung 26 die dazugehörigen Verläufe des frequenzabhängigen Schalldämm-Maßes. Die berechneten, bewerteten Schalldämm-Maße befinden sich deutlich oberhalb der Mindestanforderung von $R_w(C;C_{tr}) = 33(-1;-2)\text{dB}$. Damit können die getroffenen Maßnahmen als gelungen betrachtet werden. Da das errechnete Schalldämm-Maß aus den Messungen zwischen Basisraum und Außenbereich des Containers diese Zielsetzung bereits erreicht hat, kann eine weitere Bewertung der Schalldämm-Maße anhand des Referenzwertes für massive Wände $R_w(C;C_{tr}) = 53(-1;-0)\text{dB}$ der DIN EN ISO 717-1⁽¹⁾ erfolgen. Das bewertete Schalldämm-Maß zwischen dem elastisch gelagerten Regieraum und dem Außenbereich des Containers liegt 5dB unter diesem Wert.

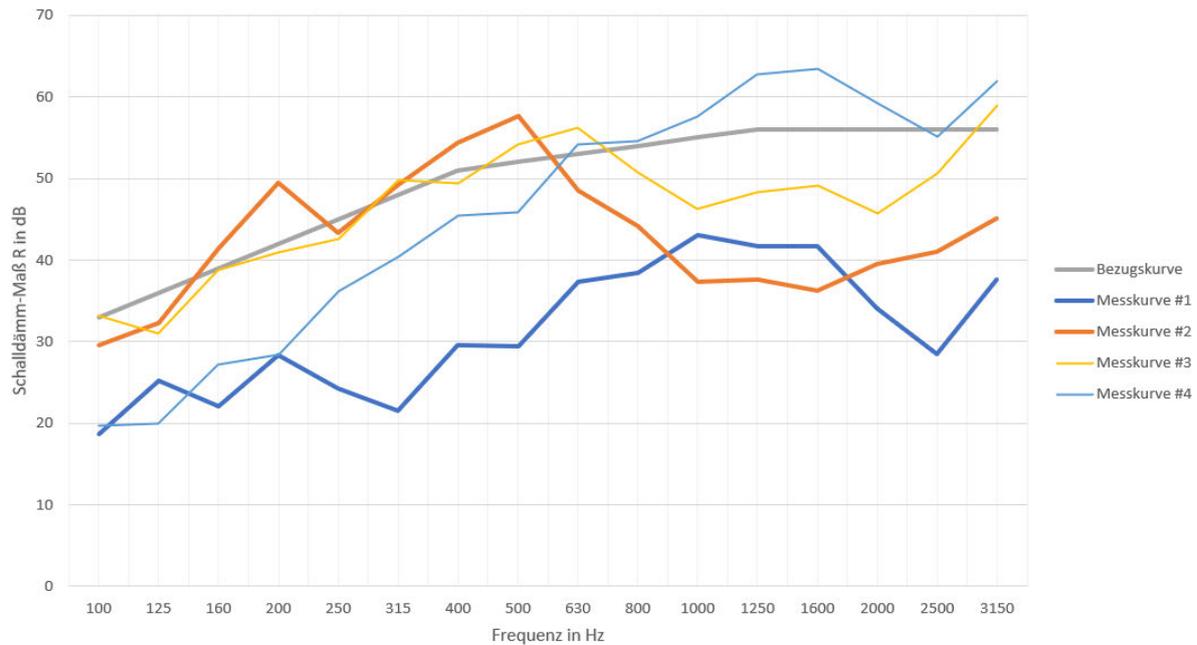


Abbildung 26: Ergebnisübersicht des frequenzabhängigen Schalldämm-Maßes

Die niedrigen Spektrum-Anpassungswerte, insbesondere C_{tr} , sind durch die Terzbänder zu erklären, in denen die Messwerte die angepasste Bezugskurve unterschreiten, sich also Dämmeinbrüche in der Messkurve zeigen. Dies ist in den Terzbändern von 100Hz, 125Hz und von 1000Hz-2500Hz der Fall (vgl. Abbildung 21). Eine Erhöhung der Pegeldifferenz in den Terzbändern von 100Hz und 125Hz um 6dB würde das bewertete Schalldämm-Maß zwischen Regieraum und Außenbereich des Containers auf $R_w(C;C_{tr}) = 49(-0;-3)$ dB erhöhen und die Spektrum-Anpassungswerte somit deutlich verbessern. Es zeigt sich also, dass vor allem die Pegeldifferenz in den tieffrequenten Terzbändern für die niedrigen Anpassungswerte ausschlaggebend sind. In diesem Zusammenhang spielt der zur Messung genutzte Subwoofer eine Rolle. Dieser strahlt vor allem die tieffrequenten Anteile des Messsignals ab und erzeugt beim Einsatz deutlich spürbare Vibrationen durch Körperschall. Der Einbruch der Messkurve in den Terzbändern bei 100Hz und 125Hz kann daher auf den Körperschall zurückgeführt werden ⁽³⁾. Um den Körperschall zu vermeiden, müsste der Messaufbau verändert werden. Der Subwoofer sollte dazu elastisch im Raum gelagert sein. Die elastische Lagerung des Raums auf Reifenschläuchen hat dies nicht kompensieren können. Für eine Nutzung des Tonstudios mit Subwoofer sollte dieser also zusätzlich elastisch gelagert werden. Umgebungen mit Lärmsituationen im tieffrequenten Bereich sollten vermieden werden.

Die elastische Lagerung der Räume bringt im Frequenzbereich von 1000Hz bis 2500Hz eine deutliche Verbesserung der Schalldämmung um 10dB. Die Trennwand zwischen Aufnahme- und Regieraum liegt in diesem Frequenzbereich sogar oberhalb der Bezugskurve und ist um 20dB besser als die ungelagerte Dämmung. Da die menschliche Stimme in diesem Bereich ihren energetischen Schwerpunkt hat, bestätigen diese Messergebnisse die Eignung des Containers als Tonstudio für Sprachaufnahmen.

3. Raumakustik

3.1. Konzept Aufnahmeraum

Grundvoraussetzung für die Nutzung des Containers als Studio für Sprachaufnahmen ist eine optimierte Akustik im Aufnahmeraum für den Frequenzbereich der Sprache. Um eine Aufnahme zu gewährleisten, welche in der Regie mithilfe einer DAW bearbeitet werden kann, soll an der Abhörposition im Aufnahmeraum eine möglichst geringe Nachhallzeit über der Frequenz herrschen. Desweiteren sollte der Schalldruckpegel der Raumreflexionen innerhalb der ersten 10ms nach Eintreffen des Direktschalls um 20dB niedriger sein⁽¹⁵⁾. Hierfür wird die Energy-Time-Curve (ETC), also der Verlauf des Schalldruckpegels über der Zeit im Raum betrachtet. Um die Reflexionen vom Abhörplatz wegzuleiten, wird eine gekrümmte Wand errichtet. Damit soll der Schall an die Rückwand geleitet und soll dort absorbiert werden. Zusätzlich werden so parallele Wände aufgelöst. Abbildung 27 zeigt den Aufbau der Reflexionsfläche.

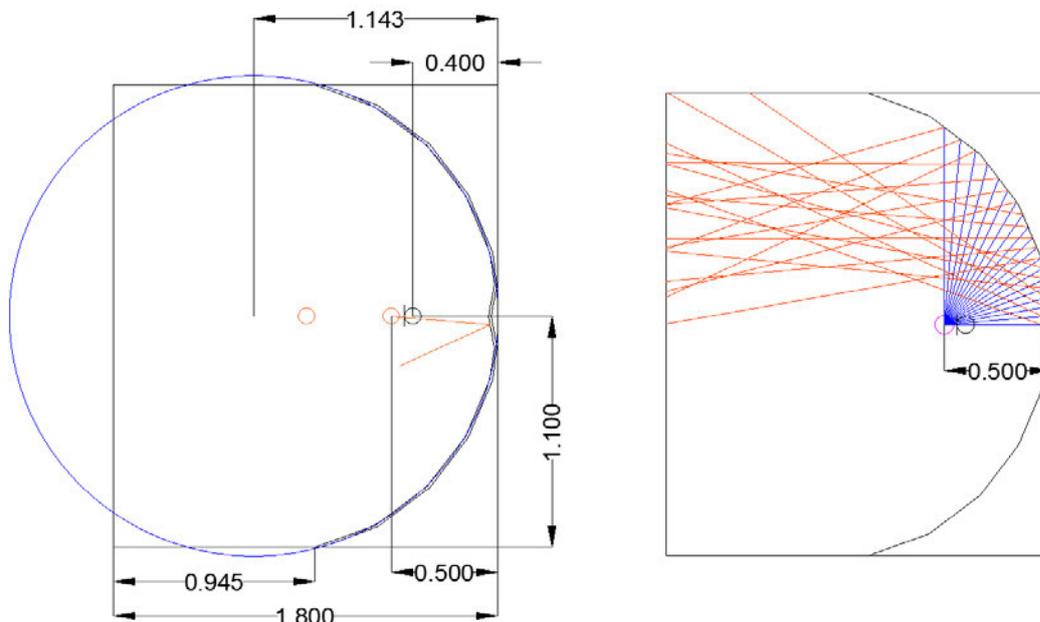


Abbildung 27: Gekrümmte Wand im Aufnahmeraum zu Reflektion des Schalls

Der Verlauf des in der Abbildung gezeichneten Kreises wird mithilfe von 30cm breiten OSB-Platten angenähert. Der Krümmungsradius beträgt $r=1,143\text{m}$. Damit die Wand den Schall an dem Mikrofon am Abhörplatz vorbeilenkt, muss der Abstand der Schallquelle zur Wand kleiner als der halbe Krümmungsradius sein. Die Mikrofonposition wird bei 40cm vor der Wand festgelegt. Die Person, dessen Stimme aufgenommen werden soll, befindet sich bei der Aufnahme 10cm von dem Mikrofon entfernt und hat damit einen Abstand von 50cm zur Wand. In Abbildung 27 sind zusätzlich alle Schallwellen, die von der Schallquelle ausgehen, in 5° Schritten von 0° bis 90° blau eingezeichnet. Die entsprechenden Reflexionen von der gekrümmten Wand sind rot eingezeichnet. Die Bedingung ist somit erfüllt. In der Mitte der gekrümmten Fläche, also direkt hinter dem Mikrofon, werden zwei 15cm breite Stücke der Wand in einem steileren Winkel angebracht. Dies dient zur Sicherheit, dass der Schall,

welche im Winkel von 0° - 10° abgestrahlt wird, auch am Mikrofon vorbei reflektiert wird. In Anlage [83] ist der Aufbau der gekrümmten Wand mitsamt dieser 15cm Stücke gezeigt. Abbildung 28 zeigt den Aufnahmeraum noch einmal in der Seitenansicht

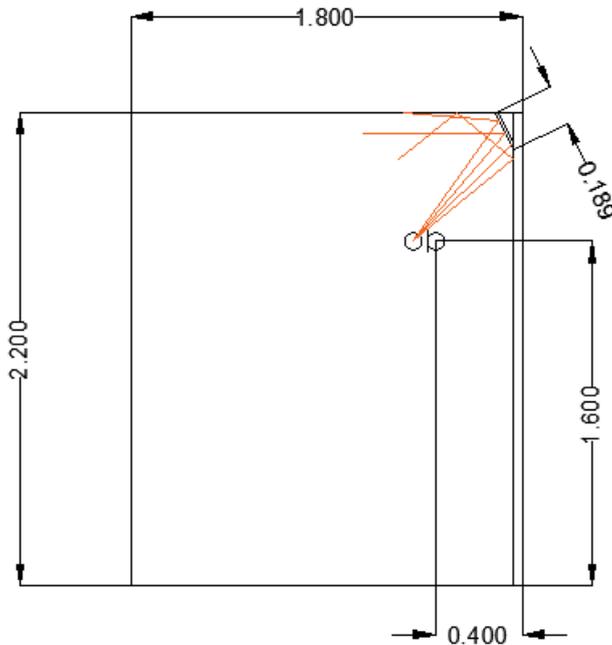


Abbildung 28: Seitenansicht Aufnahmeraum - reflektierende Flächen

Oberhalb der gekrümmten Fläche werden 19cm lange Stücke von OSB-Platten im 25° -Winkel angebracht. Diese dienen ebenfalls dem Zweck, die in Abbildung 28 rot dargestellten Schallwellen von der Mikrofonposition weg zu reflektieren. Anlage [84] zeigt die fertig gebaute, gekrümmte Wand im Aufnahmeraum. Um den reflektierten Schall zu absorbieren wird an der Rückwand und den Teilen der Seitenwand, die an die Rückwand angrenzen, pyramidenförmiger Absorberschaumstoff angebracht. In Anlage [85] sind die Absorptionsgrade dieses Materials angegeben. Ein vollständiges Datenblatt ist der Arbeit digital beigelegt. Da eine möglichst geringe Nachhallzeit im Aufnahmeraum erreicht werden soll, wird das Material in 50mm Dicke gewählt um auch im unteren Sprachbereich noch eine absorbierende Wirkung zu erreichen. In Anlage [86] und [87] sind die mit dem Material beklebten Wandflächen zu sehen.

3.2. Messmethode

Zur Bewertung dieser Maßnahmen werden Messungen mit dem Messakustik-Set durchgeführt, bestehend aus dem STSN-Dodekaeder- DO12 Plus Lautsprecher als Schallquelle auf 1,6m Höhe und einem Messmikrofon NTi M4261, welche über ein RME FireFace UC mit einem Lenovo – V 340-17IWL Notebook verbunden sind. Mithilfe der Software EASERA wird ein pink-MLS Signal als Messsignal verwendet und das Mikrofon an der Abhörposition auf 1,6m Höhe aufgestellt. Es wird nach Errichtung der gekrümmten Wand gemessen und nach dem Bekleben der Wandflächen mit dem Absorbermaterial. Die Messung an Position #1 aus Abbildung 8 wird ebenfalls betrachtet, um einen Vergleich mit den Werten aus dem Quaderförmigen Aufnahmeraum (vor Einbau der gekrümmten Wand) zu ziehen. Für die Messung dürfen Schallquelle und Mikrofon nicht 10cm voneinander entfernt sein. Dies wäre eine Messung innerhalb des Hallradius und für aussagekräftige Ergebnisse nicht zulässig. Durch den Einbau der gekrümmten Wand ist das Raumvolumen im Aufnahmeraum auf 6m^3 gesunken. Eine Berechnung der Nachhallzeit mit Werten für Absorptionsgraden 16mm Holz auf 40mm Holzlatten⁽⁹⁾ ergibt einen Wert von 0,28s für den Aufnahmeraum und damit ein Hallradius von 0,26m, welcher eingehalten werden muss. Für die Messungen wurde der größtmögliche Abstand gewählt ohne den Abstand der Schallquelle zur gekrümmten Wand größer als der halbe Krümmungsradius werden zu lassen. Das Mikrofon wurde näher an der Wand positioniert, sodass sich die Aufstellung aus Abbildung 29 ergibt. Somit wurde der Hallradius eingehalten.

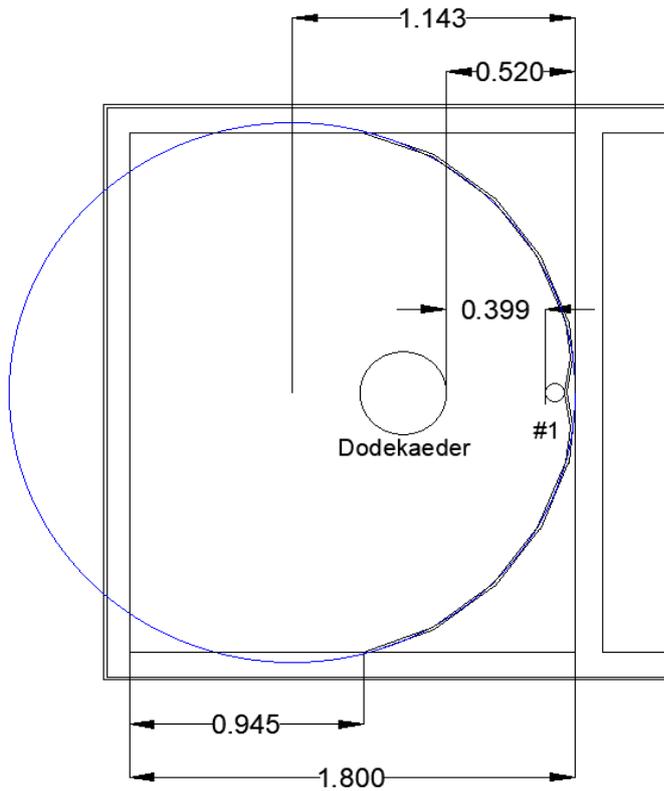


Abbildung 29: angepasster Abstand zwischen Schallquelle und Mikrofon zur Einhaltung des Hallradius

3.3. Darstellung und Interpretation der Messergebnisse

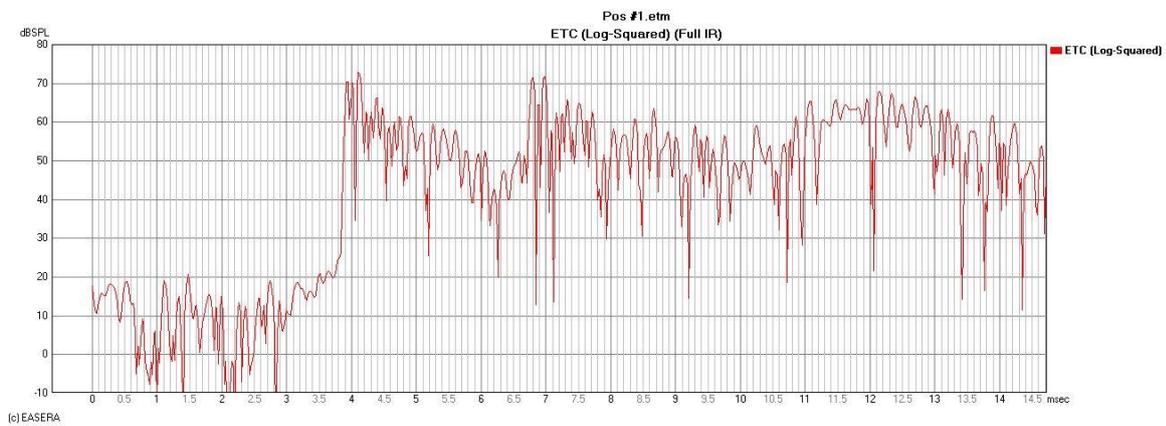


Abbildung 30: Schalldruckpegel über der Zeit im Aufnahmeraum vor Einbau einer gekrümmten Wand (Pos #1 Abbildung 8)

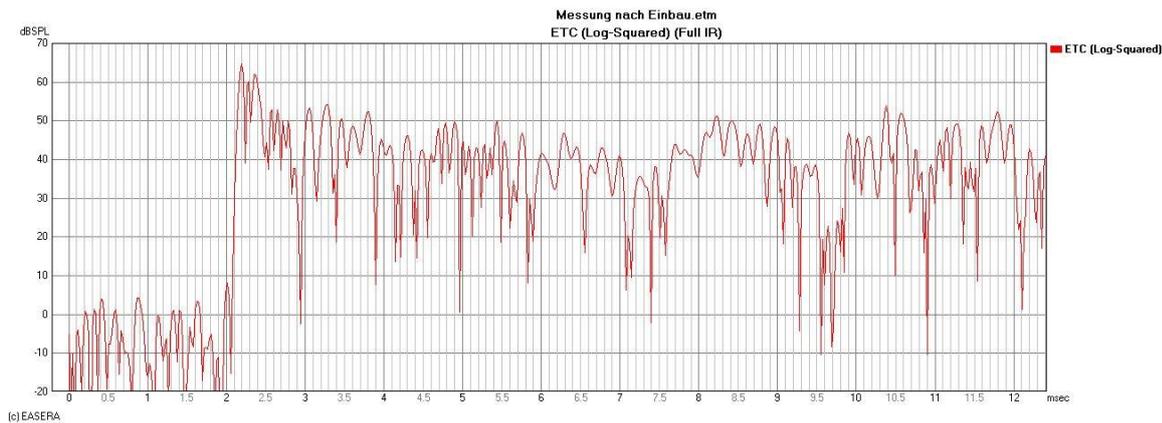


Abbildung 31: Schalldruckpegel über der Zeit im Aufnahmeraum nach Einbau einer gekrümmten Wand

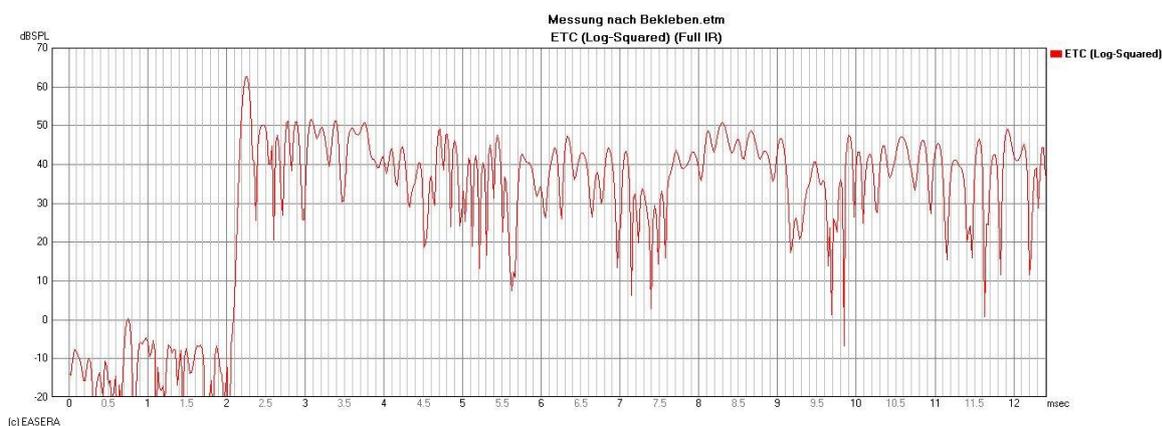


Abbildung 32: Schalldruckpegel über der Zeit im Aufnahmeraum nach Bekleben der Wandflächen mit Absorbieren

Die Abbildungen 30-32 zeigen die Schalldruckpegel im Aufnahmeraum in den verschiedenen Bauphasen. Vor Einbau der gekrümmten Wand zeigt sich, dass die Reflexionen im Raum mit dem gleichen Pegel am Mikrofon ankommen wie der Direktschall. Der Direktschall hat einen maximalen Pegel von 73dB. Die erste Reflexion trifft mit einem Pegel von 72dB auf das Mikrofon. Zudem zeigt sich auch über 10ms nach Eintreffen des Direktschalls nur eine geringe Dämpfung der Raumantwort. Die Reflexionen in dieser Zeit haben einen Pegel von 67db und 69dB.

Nach Einbau der gekrümmten Wand zeigt sich eine stärkere Dämpfung der Raumantwort. Der Direktschall hat einen Pegel von 65dB. Die erste Reflexion trifft nach 1ms mit 53dB am Mikrofon ein. Innerhalb der ersten 10ms nach Eintreffen des Direktschalls kommen die Reflexionen mit maximal 55dB an der Messposition an. Es zeigt sich also eine Dämpfung um 10dB.

Nach Bekleben der Rückwand und Teilen der Seitenwände mit dem absorbierenden Material zeigt sich, dass die Reflexionen innerhalb der ersten 10ms nach Eintreffen des Direktschalls einen maximalen Pegel von 50dB haben. Der Pegel des Direktschalls ist 65dB. Es zeigt sich eine Dämpfung der Raumantwort von 15dB. Dieser Wert liegt unterhalb der 20dB, welche für die Dämpfung der

Reflexionen im Raum erreicht werden soll. Dennoch ergibt sich bei Betrachtung der Messergebnisse eine deutliche Verbesserung der Raumantwort durch die getroffenen Maßnahmen. Die Decke und der Boden des Aufnahmerraums sind noch nicht behandelt. Vor allem die Raumantwort innerhalb der ersten 1ms und bei 8,3ms ist hierdurch betroffen. Reflexionen von der Decke haben einen Laufweg von ca 1,1m und somit eine Laufzeit von 3,2ms. Abzüglich der Laufzeit des Direktsignals von 2,2ms ergibt sich hier 1ms. Somit kann die Raumantwort 1ms nach Eintreffen des Direktsignals durch Maßnahmen an der Decke weiter beeinflusst werden. Der Schall, welcher vom Boden reflektiert wird, hat einen Laufweg von ca 2,8m. Daraus ergibt sich eine Laufzeit von 8,1ms. Maßnahmen am Boden des Aufnahmerraums wirken sich also in diesem Bereich auf die Raumantwort aus. In den Bereichen um 3ms und 8ms ist der Verlauf des in Abbildung 32 gezeigten Schalldruckpegels mit 51dB und 52 dB am höchsten. Somit sind Boden und Decke des Aufnahmerraums die nächsten Punkte, an denen Maßnahmen zur Optimierung der Akustik im Aufnahmerraum angewandt werden sollen um die Dämpfung von 20dB von Raumantwort zum Direktsignal zu erreichen.

Eine Betrachtung des Deutlichkeitsmaßes C_{50} ergibt für den Aufnahmerraum einen Wert von $C_{50}=17,7\text{dB}$ (Anlage [88]). Die Zielsetzung eines Werts für $C_{50}>0\text{dB}$ wurde somit erreicht. Somit ist im Aufnahmerraum eine gute Sprachverständlichkeit gesichert.

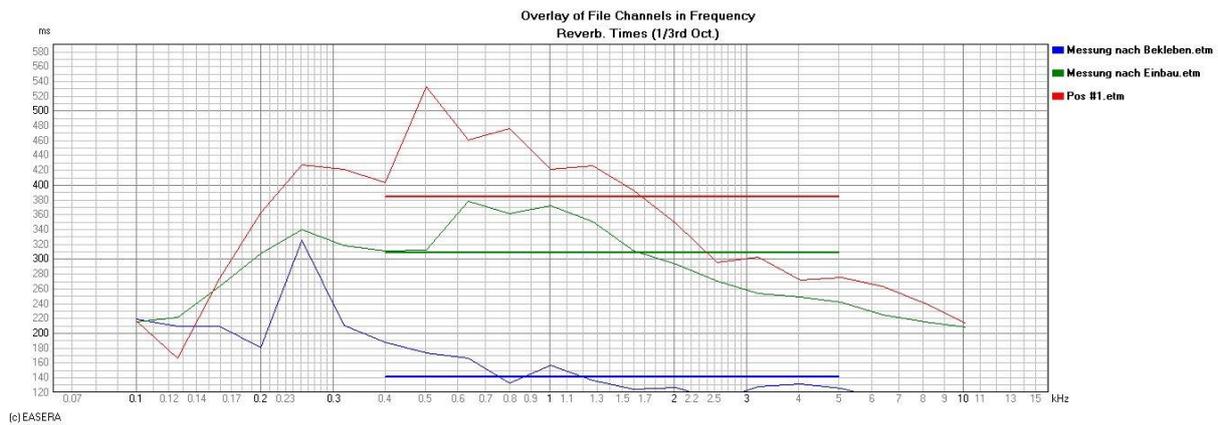


Abbildung 33: Nachhallzeiten des Aufnahmerraums vor und nach den Maßnahmen zur Akustikoptimierung

Die Nachhallzeiten des Aufnahmerraums in Abbildung 33 zeigen ebenfalls, dass die Maßnahmen deutliche Verbesserungen der Akustik gebracht haben. Die Zahlenwerte der gezeigten Nachhallzeiten sind in den Anlagen [89] (vor Einbau), [90] (nach Einbau) und [91] (nach Bekleben) dargestellt. Nach Einbau der gekrümmten Wand fällt die Nachhallzeit im Durchschnitt auf 0,31s. Vor allem ein Peak bei 500Hz, der bei der Messung vor den Maßnahmen eine Nachhallzeit von 0,53s dargestellt hat, ist nach Einbau der gekrümmten Wand verschwunden. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass die Front- und Rückwand des Aufnahmerraums durch den Einbau der gekrümmten Wand nicht mehr parallel sind und sich dazwischen keine stehenden Wellen entwickeln können. Dies passiert, wenn die Hälfte der Wellenlänge $\frac{\lambda}{2}$ oder ein Vielfaches davon genau in einen Raum passt und sich die Schallwelle und ihre eigene Reflexion durch konstruktive Interferenz länger im Raum halten.

Der Aufnahmerraum hat vor Einbau der gekrümmten Wand eine Länge von 1,8m. Die halbe Wellenlänge einer Frequenz von 472Hz passt genau fünfmal in einen Raum dieser Länge. Da diese Frequenz im Terzband von 500Hz vorhanden ist und die Messergebnisse der Nachhallzeit an den Terzmittenfrequenzen zwischen 100Hz und 8kHz gemessen ist, zeigt sich der Peak bei 500Hz. Durch den Einbau der gekrümmten Wand wurden die parallelen Wände jedoch aufgehoben und die Länge des Raumes gekürzt. Somit wird der Peak in der Nachhallzeit in diesem Terzband gesenkt. Die gekrümmte Wand erzielt somit schon die gewünschte Wirkung in Bezug auf die Nachhallzeit. Der zum Ziel genommene Wert von 0,19s wird jedoch durch diese Maßnahme noch nicht erreicht.

Durch das Bekleben der hinteren Wandflächen mit pyramidenförmigen Absorberschaumstoff wird die Nachhallzeit im Aufnahmerraum noch einmal deutlich gesenkt und es ergibt sich eine Durchschnittsnachhallzeit von 0,14s im Bereich von 0,4kHz bis 5kHz, wodurch das Ziel einer maximalen Nachhallzeit von 0,19s erreicht wird. Im Terzband von 250Hz befindet sich die Nachhallzeit jedoch bei 0,32s und erreicht nicht den Zielwert.

Der hohe Wert in der Nachhallzeit bei 250Hz begründet sich ebenfalls auf konstruktiver Interferenz. Sowohl die Seitenwände des Aufnahmeraums als auch Decke und Boden sind 2,2m voneinander entfernt. Die halbe Wellenlänge einer Schallwelle der Frequenz von 234Hz passt genau dreimal in diesen Abstand. Aus diesem Grund ist die Nachhallzeit in dem Terzband von 250Hz trotz des absorbierenden Materials noch entsprechend hoch, zumal an der Decke und dem Boden noch kein absorbierendes Material angebracht wurde. Hinzu kommt, dass das Material in den Terzbändern von 250Hz und darunter seine absorbierenden Eigenschaften verliert. Der Absorptionsgrad hat bei 315Hz noch einen Wert von 0,7, bei 250Hz einen Wert von 0,56 und bei 200Hz nur noch einen Wert von 0,41. Die Frequenzen im Terzband von 250Hz werden also nicht mehr so gut absorbiert, wie die Frequenzen der Terzbänder darüber. Um die Nachhallzeit in diesem Frequenzband zu senken könnte das Material gegen ein anderes Material ausgetauscht werden, welches im Terzband von 250Hz bessere Absorptionseigenschaften hat. Will man dasselbe Material weiterverwenden, so müssten mehr Begrenzungsflächen des Raums mit diesem Material beklebt werden. Vor allem die Decke wäre hierfür gut geeignet, da hierdurch auch der Verlauf des Schalldruckpegels über der Zeit (ETC) verbessert werden könnte. Zur weiteren Bekämpfung dieser hohen Nachhallzeit kann darüber nachgedacht werden, die parallelen Seitenwände aufzulösen und weitere Wandelemente in den Wandstücken der Seitenwand vorzunehmen, welche nicht mit Absorbern beklebt wurden.

Zudem kann geprüft werden, ob die Form der Schallquelle ebenfalls Einfluss auf die hohe Nachhallzeit in diesem Terzband hat. Da der Dodekaeder-Lautsprecher eine annähernd kugelförmige Schallquelle ist, wurde das Messsignal auch in Richtung der Decke, des Bodens und der parallelen Seitenwände abgestrahlt, was die konstruktive Interferenz begünstigen kann. Bei der Aufnahme einer Person im Aufnahmeraum kann diese jedoch als kegelförmige Schallquelle betrachtet werden, welche das aufzunehmende Signal zunächst in das Mikrofon und dann in die gekrümmte Wand abstrahlt, von der es an die Rückwand reflektiert wird. Die Entwicklung einer stehenden Welle zwischen den parallelen Begrenzungsflächen des Aufnahmeraums wird dadurch zwar nicht gestoppt, jedoch in ihrer Amplitude gedämpft. Diese Annahme sollte durch eine Messung mit einer halbkugelförmigen oder kegelförmigen Schallquelle überprüft werden, bevor weitere Maßnahmen am Raum zur Verbesserung der Nachhallzeit durchgeführt werden.

3.4. Konzept Regieraum

Nach Zielsetzung soll das im Aufnahmebereich aufgenommene Signal im Regieraum mithilfe einer DAW verarbeitet und über Monitorlautsprecher abgespielt werden können. Hierfür wird eine optimierte Akustik im Abhörbereich vor dem Computer und den damit verbundenen Lautsprechern benötigt. Der Abhörbereich wird auf einen Bereich von 1m breite und 40cm tiefe um den Platz am Computer festgelegt. Um Reflektionen der Schallwellen vom Abhörbereich weg zu lenken und um parallele Wände aufzulösen werden vor den Seitenwänden des Regieraums schräge Wände eingebaut. Diese ist in Anlage [92] zu sehen. Der Aufbau und die Abmessungen der schrägen Wände ist in Abbildung 34 gezeichnet.

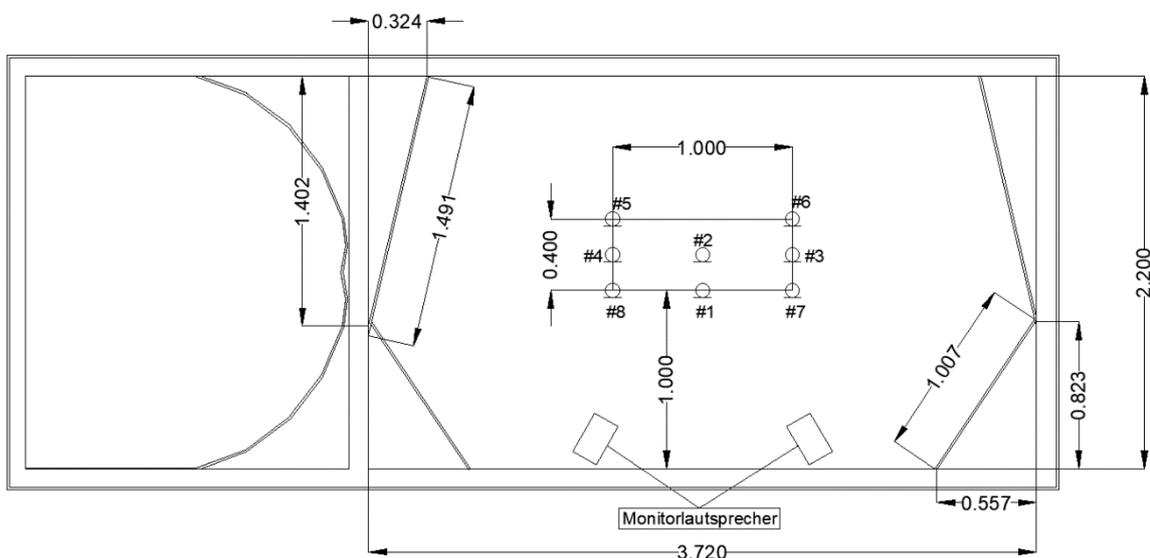


Abbildung 34: Aufbau der schrägen Seitenwände im Regieraum und Messpositionen

3.5. Messmethode

Im Regieraum werden an den acht Positionen #1-#8 aus Abbildung 34 auf 1,3m Höhe Messungen innerhalb des Abhörbereichs durchgeführt. Diese werden mit zwei Monitorlautsprechern LSR305 der Marke JBL als Schallquellen durchgeführt. Der restliche Messaufbau besteht aus einem Messmikrofon NTi M4261, einem RME FireFace UC und einem Lenovo – V340 – 17IWL - Notebook mit der Software EASERA. Das Messsignal ist ein pink-MLS-Signal. Zur Bewertung der Messergebnisse wird der Verlauf des Schalldruckpegels über der Zeit (Energy-Time-Curve) im Raum und die Nachhallzeiten der Messungen genutzt.

3.6. Darstellung und Interpretation der Messergebnisse

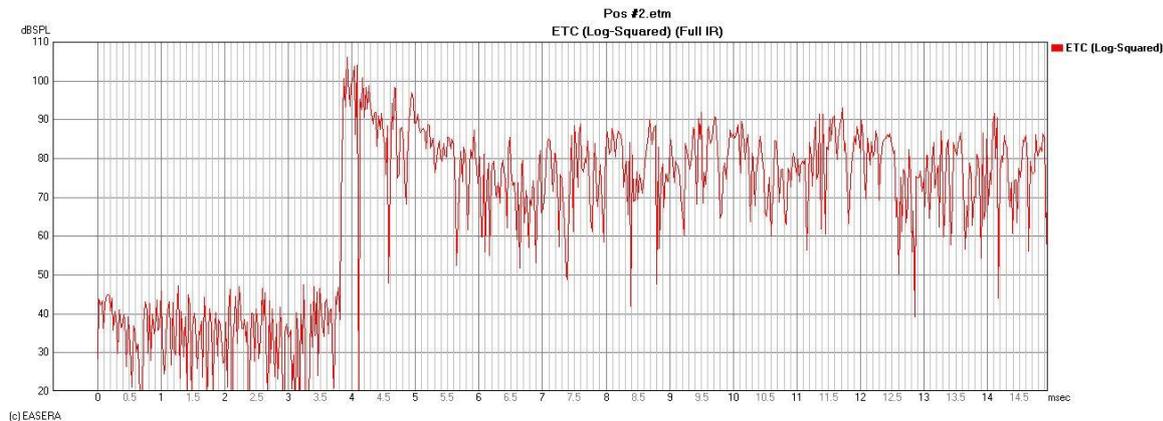


Abbildung 35: Schalldruckpegel über der Zeit im Regieraum gemessen an Position #2

Abbildung 35 zeigt den Verlauf des Schalldruckpegels über der Zeit im Regieraum an Messposition #2 in der Mitte des Abhörbereichs. Die Verläufe der Messungen an den allen Positionen sind in den Anlagen [93] bis [100] zu sehen. Durch die Messung mit zwei Monitorlautsprechern sind in den Messungen an den Position #3-#8 jeweils zwei Direktsignale zu sehen. Da diese Messpositionen nicht in der Mitte des Raumes stehen ergeben sich Laufzeitunterschiede zwischen den Signalen der beiden Lautsprecher, wodurch diese zu unterschiedlichen Zeitpunkten an der Messposition ankommen.

Eine Betrachtung des Verlaufs aus Abbildung 35 zeigt, dass die erste Reflexion des Messsignals schon 0,78ms nach dem Direktschall am Mikrofon eintrifft. Mithilfe der Schallgeschwindigkeit in Luft (bei 20°C) von 343m/s und der Formel $s = v * t$ wird ein Laufweg von $s=0,267m$ errechnet. Die einzig mögliche Fläche, von der eine Reflexion mit diesem Laufweg kommen kann, ist die Wand vor der die Monitorlautsprecher stehen. Um diese Reflexionen auszulöschen können die Lautsprecher in eine neue Rückwand eingebaut werden, welche vor der eigentlichen Rückwand des Regieraums positioniert wird und es ergibt sich keine Reflexion innerhalb von 1ms nach Eintreffen des Direktsignals. Das Direktsignal hat einen Pegel von 106dB. Die erste Reflexion hat einen Pegel von 98dB und der nächsthöhere Pegel der Raumantwort hat einen Pegel von 93dB. Die Vorgabe, dass die Raumantwort 20dB unter dem Schalldruckpegel des Direktsignals liegen soll, wurde somit nicht erfüllt.

Es werden für die Reflexionen innerhalb der ersten 10ms nach Eintreffen des Direktsignals die Laufwege errechnet. Das Direktsignal kommt nach 4ms am Mikrofon an. Somit werden die Reflexionen innerhalb von 14ms, umgerechnet also mit einem Laufweg von maximal 4,8m betrachtet. In Abbildung 35 sind Reflexionen bei 7,5ms, 8,5ms, 9,5ms und 11,5ms zu sehen.

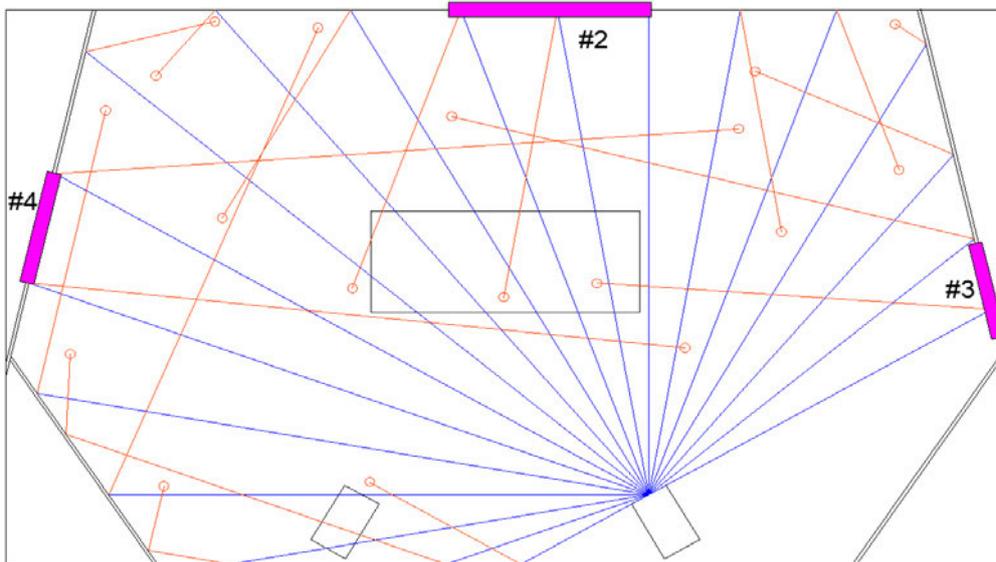


Abbildung 36: Reflexionen eines Monitorlautsprechers im Regieraum

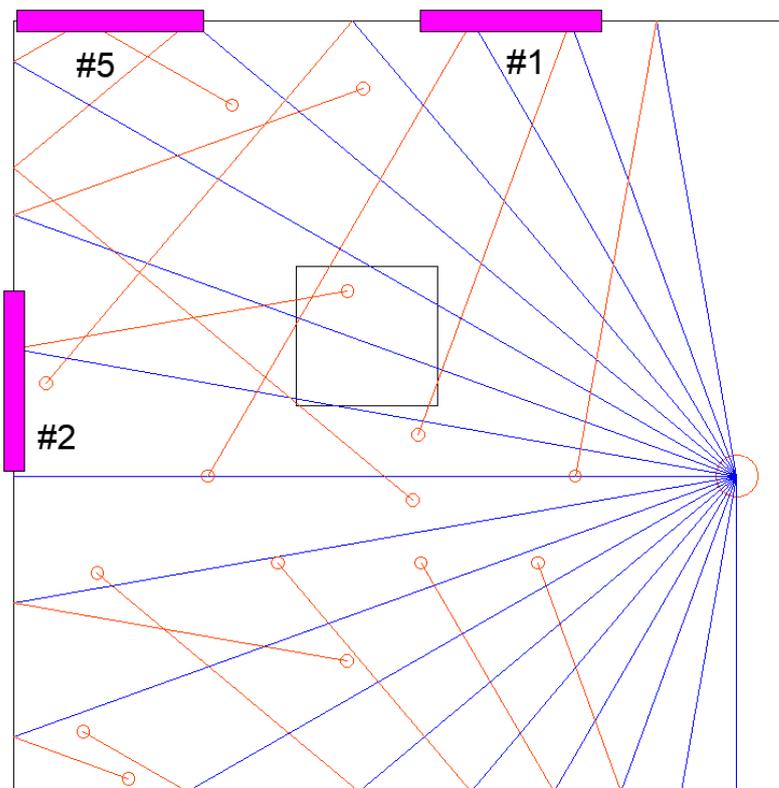


Abbildung 37: Reflexionen eines Monitorlautsprechers im Regieraum - Seitenansicht

In Abbildung 36 und 37 sind die Schallwellen, die einer der beiden Monitorlautsprecher in den Raum abstrahlt, in 10° Abschnitten von -90° bis +90° in blau eingezeichnet. Abbildung 36 zeigt hierbei die Sicht auf den Regieraum von oben und Abbildung 37 die Seitenansicht des Regieraums. Die Reflexionen, die sich an den Begrenzungsflächen des Regieraums ergeben sind in rot dargestellt. In magenta wurden die Begrenzungsflächen gekennzeichnet, von denen der Schall direkt in den Abhörbereich reflektiert wird. Die Lauflängen des Schalls, der an diesen Flächen reflektiert wird und in den Abhörbereich gelangt, passen zu den Laufzeiten der Reflexionen (Abbildung 38). Für den zweiten Monitorlautsprecher müssen diese Begrenzungsflächen gespiegelt werden. Dies ergibt die Flächen, an denen akustische Maßnahmen erforderlich sind um die Reflexionen des Schalls im Abhörbereich zu minimieren oder von ihm wegzuleiten und die gewünschten 20dB Dämpfung der Raumantwort im Verhältnis zum Direktschall zu erreichen. Die Verläufe des Schalldruckpegels über der Zeit an den anderen Messpunkten und deren Impulsantworten (Anlagen [101] bis [108]) stützen dieses Ergebnis. Unter Berücksichtigung der veränderten Messposition bei jeder Messung stimmen die Laufzeiten der Reflexionen mit den Laufwegen über die in Abbildung 36 und 37 gekennzeichneten Flächen überein.

| Laufzeit Reflexion (ms) | Laufweg (m) | Begrenzungsfläche |
|-------------------------|-------------|-------------------|
| 7,5 | 2,57 | #1 |
| 8,5 | 2,91 | #2 |
| 9,5 | 3,25 | #3 |
| 11,5 | 3,94 | #4 + #5 |

Abbildung 38: Ergebnisse aus Laufzeit und Laufwegsberechnung

Eine Betrachtung des Deutlichkeitsmaßes C_{50} und des Klarheitsmaßes C_{80} im Regieraum ergeben bei der Messung an Messposition #2 die Werte $C_{50}=10,7\text{dB}$ und $C_{80}=15,4\text{dB}$ gemäß Anlage [109], welche beide deutlich über der Zielsetzung von $C_{50}>0\text{dB}$ und $C_{80}>0\text{dB}$ liegen. Es ist also eine gute Sprachverständlichkeit und Klarheit für das Abspielen von Musik vorhanden.

Die gemessenen Nachhallzeiten des Regieraums über der Frequenz sind in Abbildung 39 dargestellt.

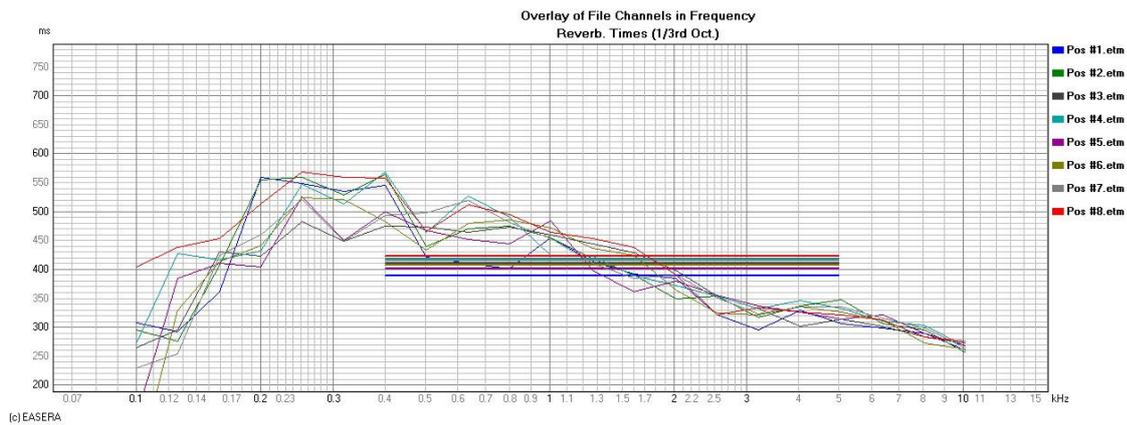


Abbildung 39: Nachhallzeiten über der Frequenz im Regieraum - Messungen an den Positionen #1-#8 in Terzbändern von 100Hz bis 10kHz

Die Messergebnisse zeigen einen ähnlichen Verlauf über der Frequenz. Eine Mittelung aller Werte eines Terzbandes ergibt einen Verlauf der Nachhallzeit über der Frequenz für den gesamten Abhörbereich. Dieser ist in Abbildung 40 dargestellt.

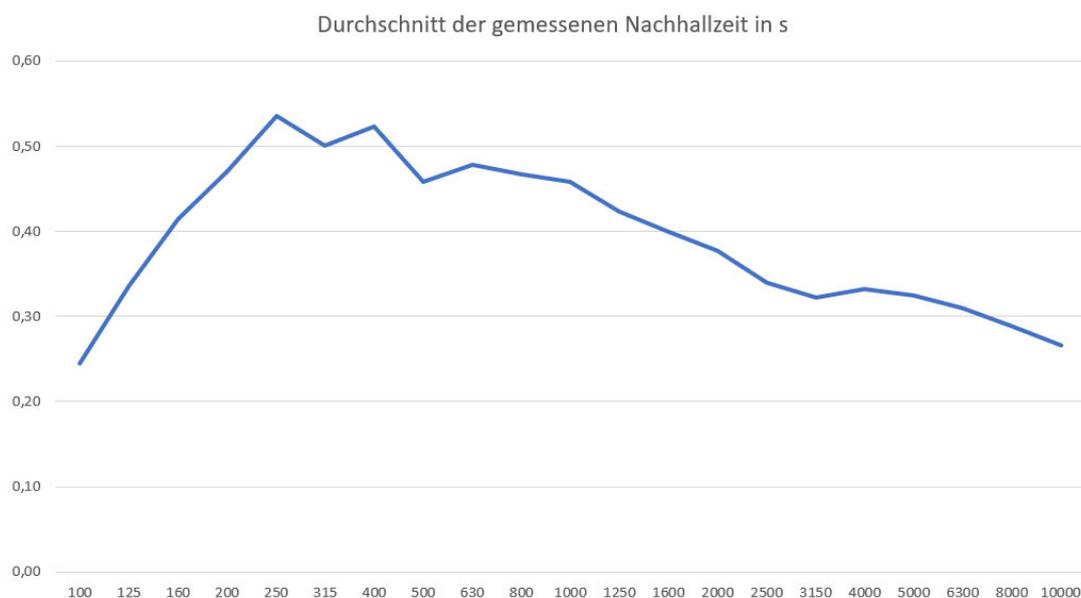


Abbildung 40: Durchschnitt der gemessenen Nachhallzeiten in Sekunden

Anlage [110] zeigt die Zahlenwerte der Nachhallzeiten und den gemittelten Wert. Der Verlauf der Nachhallzeiten über der Frequenz zeigt, dass diese in den Terzbändern von 250Hz bis 400Hz noch oberhalb von 0,5s liegen. Der Grund hierfür liegt in konstruktiver Interferenz. Sowohl die Breite des Regieraums als auch seine Höhe beträgt 2,2m. Die halbe Wellenlänge von 234Hz passt genau dreimal in diesen Abstand, die Halbe Wellenlänge von 312Hz viermal und die halbe Wellenlänge von 390Hz genau fünfmal. Die Schallwellen überlagern sich somit mit ihrer eigenen Reflektion im Raum und halten sich durch konstruktive Interferenz länger. Da 234Hz in das Terzband von 250Hz fällt, 312Hz ins

Terzband von 315Hz und 390 Hz in das Frequenzband von 400Hz, zeigt die Grafik die hohe Nachhallzeit entsprechend bei 250Hz, 315Hz und 400Hz. Die Auswirkungen konstruktiver Interferenz ist jedoch nur in den tiefen Frequenzbereichen ausschlaggebend. Die Frequenzen, deren halbe Wellenlänge genau in den Raum passen, liegen immer näher beieinander, je höher man auf der Frequenzachse geht und die konstruktive Interferenz hat bei ihnen weniger Auswirkung auf die Nachhallzeit. Die Nachhallzeit sinkt somit bei steigender Frequenz.

In den Terzbändern von 100Hz, 6300Hz, 8000Hz und 10000Hz unterschreitet die Nachhallzeit die Zielsetzung von 0,32s. In den Terzbändern von 125Hz bis 5000Hz ist die Zielsetzung erreicht worden. Die Nachhallzeit befindet sich zwischen 0,32s und 0,63s. Da die Zielwerte erreicht und teilweise unterschritten werden, ist für eine weitere Behandlung der Begrenzungsflächen des Regieraums der Einsatz von Diffusoren geeigneter als absorbierendes Material. So kann ein gleichmäßigerer Verlauf der Nachhallzeit erreicht werden.

4. Beleuchtung und Stromversorgung

Die Stromversorgung des Containers erfolgt über eine CEE-16A Starkstromsteckdose an der Außenwand. Über einen Fehlerstromschalter (FI) wird über drei Sicherungen (16A) einmal die Steckdosen im gesamten Container, einmal das Licht im Regieraum und einmal das Licht im Aufnahmezimmer abgesichert. Die Schaltskizze hierfür befindet sich in Anlage [111] Für die Beleuchtung des Studios wurden 3 Anbauleuchten LEO-A mit 17W und 1700lm Leuchtenlichtstrom im Container verbaut. Ein Datenblatt der Leuchte liegt der Arbeit digital bei. Für die Beleuchtung wurde eine Lichtberechnung durchgeführt. Die Abbildung 41 zeigt die Lichtverteilung im Aufnahmezimmer in lx und die Abbildung 42 die Lichtverteilung im Regieraum in lx. Die Anlage [112] zeigt die Beleuchtung im Regieraum.

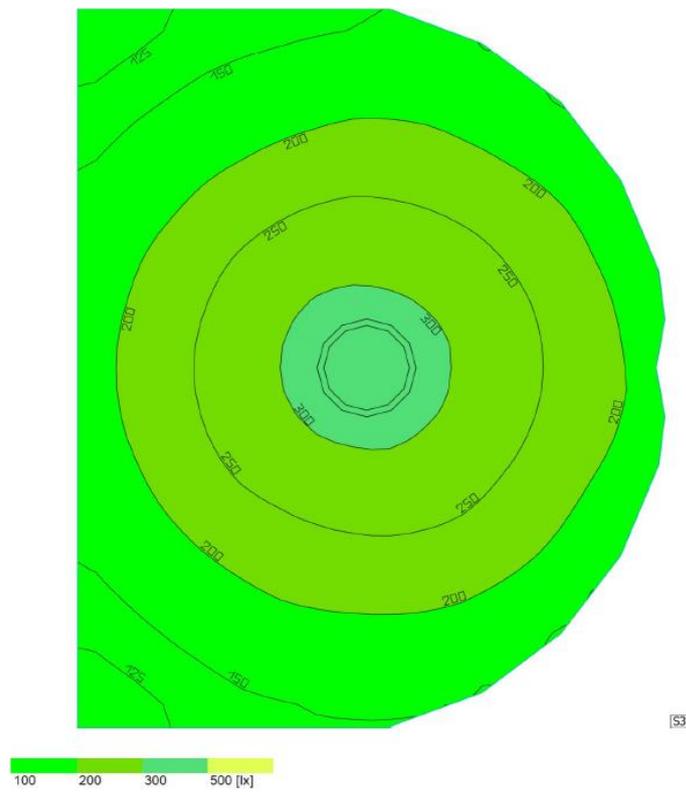


Abbildung 41: Lichtverteilung Aufnahmeraum

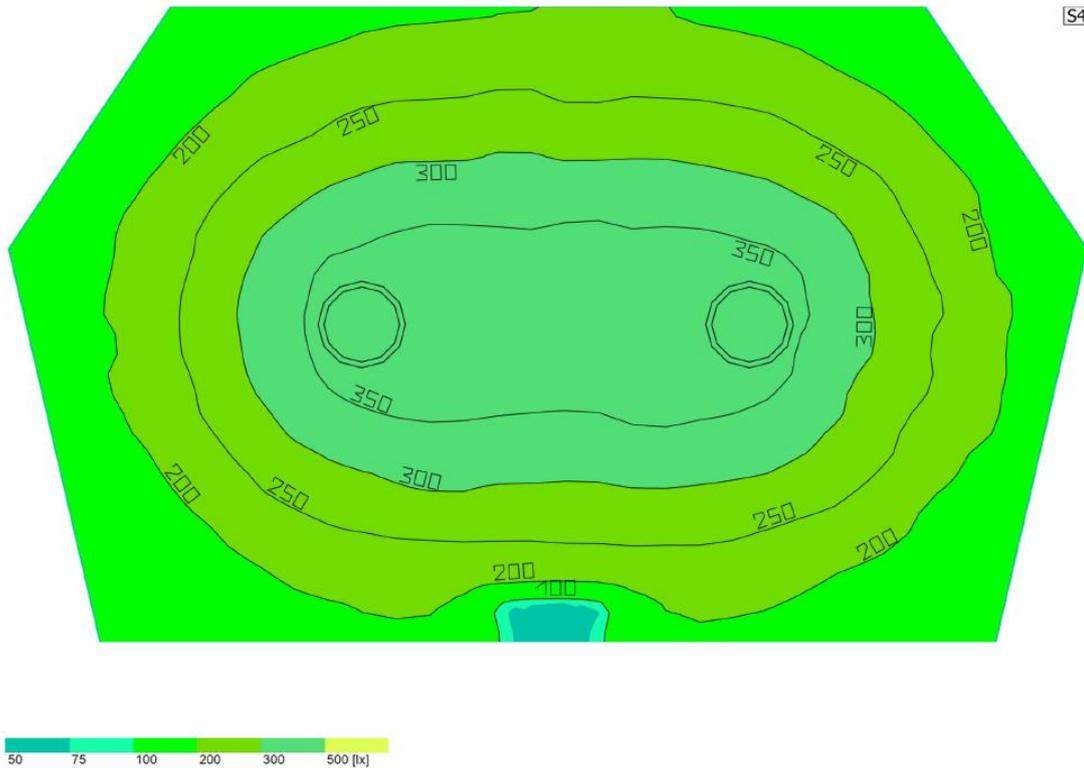


Abbildung 42: Lichtverteilung Regieraum

Die Lichtberechnung ergibt auf einer Nutzebene von 80cm eine mittlere Beleuchtungsstärke von 211lx im Aufnahmeraum und 254lx im Regieraum. Nach Montage der Leuchten wurden an sechs Positionen im Regieraum und an drei Positionen im Aufnahmeraum mithilfe eines Luxmeters der Marke Mastech, Modell MS6612, ebenfalls auf einer Höhe von 80cm Messungen der Beleuchtungsstärke durchgeführt. In Abbildung XY sind die Messergebnisse an den jeweiligen Messpunkten eingezeichnet.

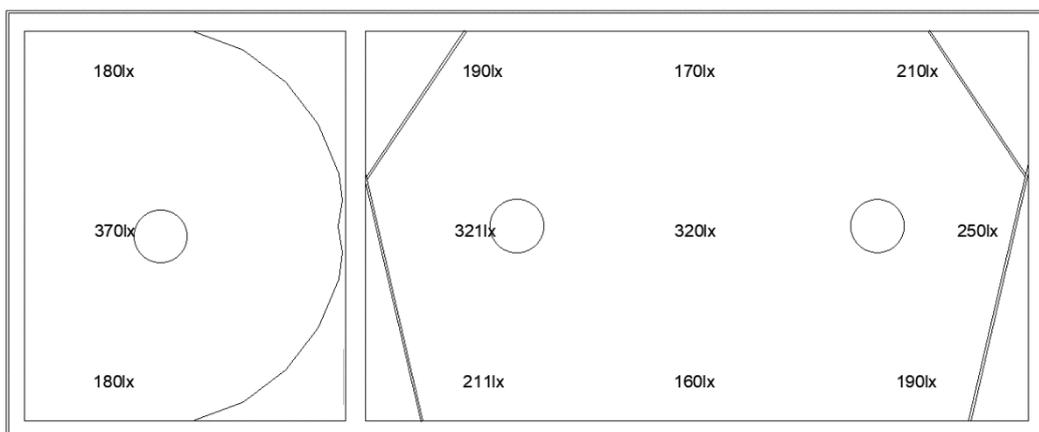


Abbildung 43: Ergebnisse der Messungen der Beleuchtungsstärke an den jeweiligen Messpositionen

Die Messungen verifizieren die berechneten Werte und somit können die Werte der mittleren Beleuchtungsstärke aus der Lichtberechnung beider Räume als valide angesehen werden. Die DIN EN 12464-1⁽¹⁶⁾ gibt keinen Wert der mittleren Beleuchtungsstärke in Tonstudios vor. Da im Regieraum an einem Computer gearbeitet wird, kann dieser als Einzelbüro betrachtet werden, für welches eine mittlere Beleuchtungsstärke von 500lx vorgegeben ist. Der Regieraum entspricht somit nicht der DIN-Norm. Bei einer gewerblichen Nutzung des Studios sollte dies berücksichtigt und die Beleuchtung entsprechend verbessert werden. Für den privaten Gebrauch ist die Beleuchtung jedoch ausreichend. Der subjektive Eindruck lässt den Raum nicht zu dunkel erscheinen.

Eine Veränderung der Wandfarbe auf Reinweiß (RAL 9010) würde laut Lichtberechnung eine Erhöhung der mittleren Beleuchtungsstärke auf 317lx im Aufnahmeraum und 518lx im Regieraum ergeben. Somit wäre der Regieraum Normgerecht. Die Abbildungen 44 und 45 zeigen die Ergebnisse einer Berechnung der gestrichenen Räume.

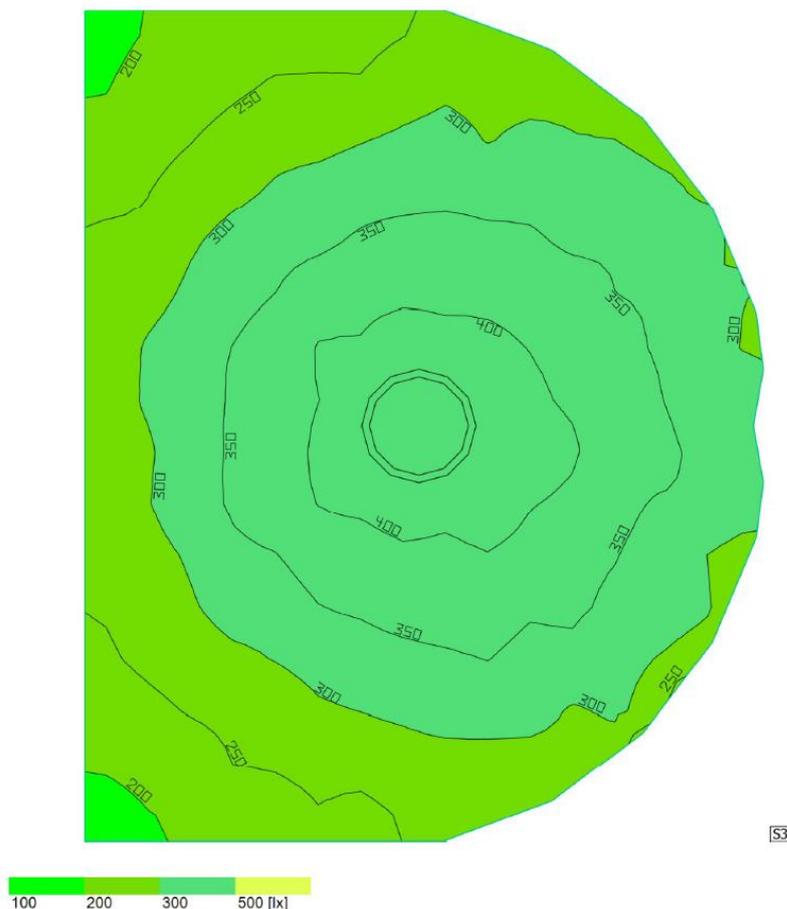


Abbildung 44: Lichtberechnung Aufnahmeraum nach Streichen in weiß (RAL 9010)

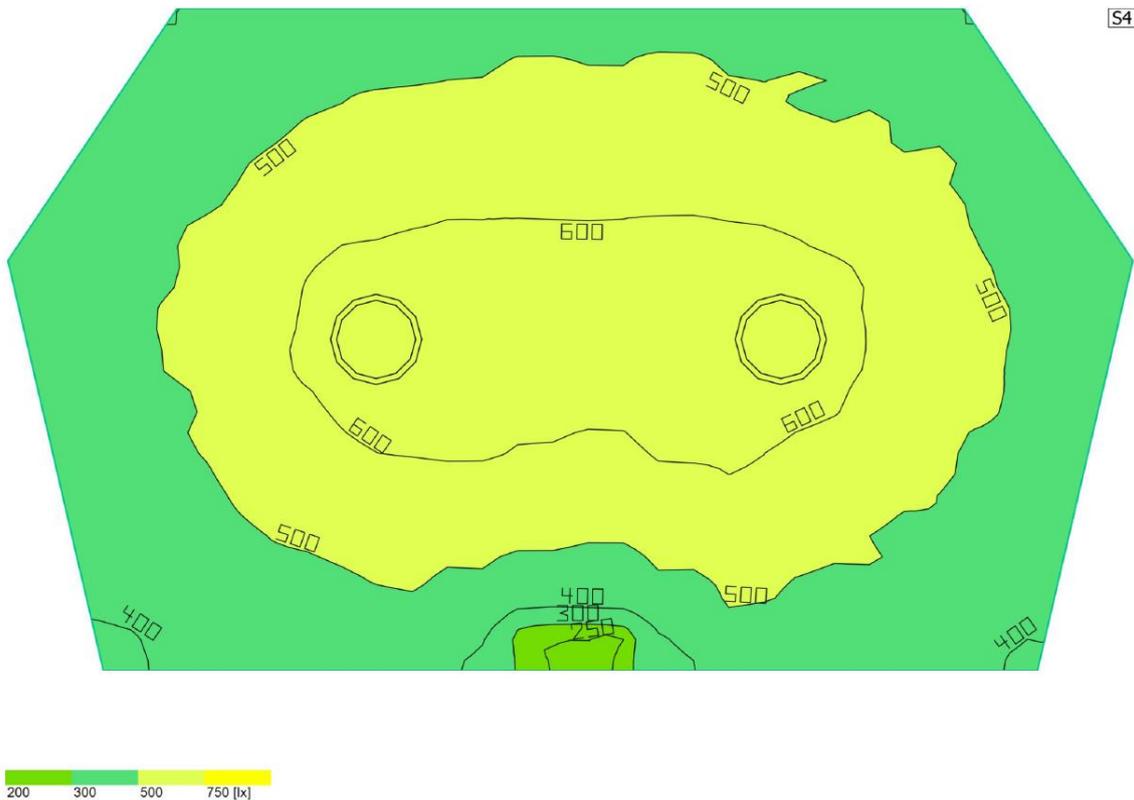


Abbildung 45: Lichtberechnung Regieraum nach Streichen in weiß (RAL 9010)

5. Fazit

Die Ergebnisse der Schalldämmung aus 2.10. und die Ergebnisse zu Optimierung der Raumakustik aus 3.3. und 3.6. zeigen, dass es möglich ist, ein Tonstudio für Sprach- und Gesangsaufnahmen in einem Bürocontainer zu bauen.

Durch das Raum-in-Raum Prinzip ist es möglich, eine geeignete Schalldämmung zu erreichen und das Studio in verschiedenen Umgebungssituationen zu nutzen. Schall im Frequenzbereich der Sprache wird effektiv gedämmt und die Schallemission von innen nach außen lässt den Einsatz an verschiedenen Einsatzorten zu. Ebenso wird mittel- bis hochfrequenter Lärm von außen effektiv gedämmt. Es sollte jedoch Lärm im tieffrequenten Bereich, beispielsweise Baustellenlärm, vermieden werden.

Das gezielte Reflektieren von Schall und dessen Absorption durch entsprechendes Material ist im Aufnahmeraum erfolgreich durchgeführt worden. Eine Dämpfung der Raumantwort um 15dB im Vergleich zum Direktsignal wird erreicht und die Ziel-Nachhallzeit wurde mit Ausnahme des Terzbands von 250Hz deutlich unterschritten. Anhand der Messergebnisse kann belegt werden, dass durch weitere Maßnahmen an Decke und Boden des Aufnahmeraums die Dämpfung der Raumantwort auf 20dB gesteigert und auch die Nachhallzeit im Bereich von 250Hz gesenkt werden kann. So können verständliche, nicht verhallte Sprachaufnahmen durchgeführt werden, welche in der Regie mittels einer DAW nachbearbeitet werden können.

Die Nachhallzeit im Regieraum erfüllt die obere Zielsetzung von 0,63s für alle Frequenzen und unterschreitet die untere Zielsetzung von 0,32s bei tiefen und sehr hohen Frequenzen. Im üblichen Frequenzbereich der Sprache liegt die Nachhallzeit innerhalb der Zielsetzung. Für eine Wiedergabe von Signalen über Monitorlautsprecher im Regieraum werden weitere Maßnahmen benötigt. Um eine Dämpfung von 20dB der Raumantwort gegenüber dem Direktschall zu erreichen, sollten die Lautsprecher in die Rückwand des Regieraums eingebaut werden und Diffusoren an den in 3.X gezeigten Positionen im Raum platziert werden. Somit kann auch ein glatterer Verlauf der Nachhallzeit erreicht werden. Absorbierendes Material ist an im Regieraum nicht benötigt. Für eine Nutzung des Regieraums im aktuellen Zustand wird das Abhören des Signals durch Kopfhörer empfohlen.

Das Deutlichkeitsmaß C_{50} und das Klarheitsmaß C_{80} der Räume sind weit über den vorgegebenen Werten. In beiden Räumen herrscht somit eine gute Sprachverständlichkeit und im Regieraum eine gute Klarheit für Musik.

Zukünftige Arbeiten am Container beinhalten die weiterführenden Maßnahmen zur Verbesserung der Raumakustik im Regieraum, welche aus Kostengründen noch nicht umgesetzt werden konnten. Weiterführend wird die Einrichtung des Studios mit Computer samt DAW, Studiomikrofon und Interface benötigt. Für beide Räume ist die Einrichtung einer Lüftung nötig. Diese sollte keine Schallbrücke zwischen den Innenräumen und der Außenhülle darstellen, benötigt also eine elastische Lagerung und sollte während der Aufnahmen verschlossen werden können, um die Schalldämmung aufrechtzuerhalten. Um Blickkontakt und Kommunikation zwischen den Personen im Aufnahme- und Regieraum zu gewährleisten, soll ein Talkbackmikrofon in der Regie und in beiden Räumen Kameras und Bildschirme installiert werden. Die Kameras und Bildschirme ersetzen somit ein Fenster zwischen Aufnahme- und Regieraum. Um die mittlere Beleuchtungsstärke zu erhöhen und den Regieraum als Einzelbüro somit Normgerecht zu machen, ist das Streichen der Räume in weiß erforderlich.

6. Eigenständigkeitserklärung

Ich versichere, die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die angegebenen benutzt zu haben. Die aus anderen Werken wortwörtlich entnommenen Stellen oder dem Sinn nach entlehnten Passagen sind durch Quellenangaben eindeutig kenntlich gemacht.

— 

Victor Reiner mann

Hamburg, den 30.08.2021

Quellenverzeichnis

- (1) DIN EN ISO 717-1 Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 1: Luftschalldämmung (ISO 717-1: 2020); **S.32**; Beuth Verlag GmbH, Berlin 2021-05
- (2) Dr. rer. Nat. Ulf-J. Werner; Handbuch Schallschutz und Raumakustik für Theorie und Praxis, **S.157**, 2., überarbeitete Auflage; Beuth Verlag GmbH, Berlin Wien Zürich 2015
- (3) DIN 18041 Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung; Beuth Verlag GmbH, Berlin 2016-03
- (4) Dr. rer. Nat. Ulf-J. Werner; Handbuch Schallschutz und Raumakustik für Theorie und Praxis, **S.259**, 2., überarbeitete Auflage; Beuth Verlag GmbH, Berlin Wien Zürich 2015
- (5) Andreas Friesecke; Studio Akustik: Konzepte für besseren Klang, **S.74**, 5. Auflage 2015, PPVMEDIEN GmbH, Bergkirchen 2007
- (6) Andreas Friesecke; Studio Akustik: Konzepte für besseren Klang, **S.73**, 5. Auflage 2015, PPVMEDIEN GmbH, Bergkirchen 2007
- (7) Dr. rer. Nat. Ulf-J. Werner; Handbuch Schallschutz und Raumakustik für Theorie und Praxis, **S.243**, 2., überarbeitete Auflage; Beuth Verlag GmbH, Berlin Wien Zürich 2015
- (8) Dr. rer. Nat. Ulf-J. Werner; Handbuch Schallschutz und Raumakustik für Theorie und Praxis, **S.213**, 2., überarbeitete Auflage; Beuth Verlag GmbH, Berlin Wien Zürich 2015
- (9) Dr. rer. Nat. Ulf-J. Werner; Handbuch Schallschutz und Raumakustik für Theorie und Praxis, **S.214**, 2., überarbeitete Auflage; Beuth Verlag GmbH, Berlin Wien Zürich 2015
- (10) Dr. rer. Nat. Ulf-J. Werner; Handbuch Schallschutz und Raumakustik für Theorie und Praxis, **S.238**, 2., überarbeitete Auflage; Beuth Verlag GmbH, Berlin Wien Zürich 2015
- (11) Dr. rer. Nat. Ulf-J. Werner; Handbuch Schallschutz und Raumakustik für Theorie und Praxis, **S.288**, 2., überarbeitete Auflage; Beuth Verlag GmbH, Berlin Wien Zürich 2015
- (12) Dr. rer. Nat. Ulf-J. Werner; Handbuch Schallschutz und Raumakustik für Theorie und Praxis, **S.289**, 2., überarbeitete Auflage; Beuth Verlag GmbH, Berlin Wien Zürich 2015
- (13) DIN EN ISO 717-1 Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 1: Luftschalldämmung (ISO 717-1: 2020); **S. 18**; Beuth Verlag GmbH, Berlin 2021-05

- (14) Dr. rer. Nat. Ulf-J. Werner; Handbuch Schallschutz und Raumakustik für Theorie und Praxis, **S.291**, 2., überarbeitete Auflage; Beuth Verlag GmbH, Berlin Wien Zürich 2015
- (15) Andreas Friesecke; Studio Akustik: Konzepte für besseren Klang, **S.100**, 5. Auflage 2015, PPVMEDIEN GmbH, Bergkirchen 2007
- (16) DIN EN 12464-1 Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen; Beuth Verlag GmbH, **S.47**, Berlin 2019-06